

JULIANA MARIA NOGUEIRA PEREIRA

**DOSES DE Cd, Pb, Cu, Zn E Ni EM LATOSSOLOS: EFEITOS NO SOLO E  
EM PLANTAS DE ALFACE E FEIJÃO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2006

JULIANA MARIA NOGUEIRA PEREIRA

**DOSES DE Cd, Pb, Cu, Zn E Ni EM LATOSSOLOS: EFEITOS NO SOLO E  
EM PLANTAS DE ALFACE E FEIJÃO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Aprovada: 30 de março de 2006

---

Prof. Júlio César Lima Neves  
(Conselheiro)

---

Prof. Maurício P. Ferreira Fontes  
(Conselheiro)

---

Prof. Clístenes W. A. do Nascimento

---

Prof. Hermínia E. Prieto Martinez

---

Prof. Renildes L. Ferreira Fontes  
(Orientador)

À minha família.

Por tudo e por tanto...

## **AGRADECIMENTOS**

À minha mãe e ao meu pai (in memoriam), por acreditarem em mim e cujo apoio foi fundamental para superar todos os obstáculos.

À minha família, e um agradecimento super especial às minhas irmãs, principalmente à Jussara e ao meu irmão Jefferson, que sempre estiveram ao meu lado quando precisei.

Aos meus sobrinhos, que amo tanto!

A Marcelo, pela força, pelo apoio e pelo companheirismo.

Ao Professor Renildes L. F. Fontes pela orientação, sugestões e críticas que foram fundamentais para a conclusão desse trabalho.

Aos meus amigos, por acreditarem que eu seria capaz.

À Sarita, amiga e irmã, cuja ajuda foi fundamental para conclusão desse trabalho.

À Cris, sempre disposta a me ajudar nos momentos que precisei.

Aos queridos amigos que conquistei e que foram essenciais nos momentos de alegrias e de tristezas, entre eles, Claudinha, Arnaldo, Xande, Lúcia, Tarcísio, Delana, Alice, Alessandra (Lelé).

Aos professores Victor Hugo Alvarez V. e Maurício P. F. Fontes, que sempre estiveram à minha disposição quando precisei, muito obrigado!

Aos professores Raphael Bragança Alves Fernandes, Clístenes W. A. Nascimento e Júlio César Lima Neves, pela ajuda, orientação e sugestões muito valiosas para conclusão do trabalho.

Ao CNPq, pelo suporte financeiro sem o qual não seria possível a realização desse trabalho.

A Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Solos, pela oportunidade dada para realização do Curso de Pós-Graduação.

Aos professores do Departamento de Solos, que sempre trabalharam com afinco e dedicação e com os quais eu aprendi a valorizar ainda mais essa profissão.

Aos colegas e amigos que conquistei durante o percurso, Adriano Jakelaitis, Ermelinda, Gualter, Filipe, Guilherme Donnagemma, Guilherme Cadinelli, Carol, Carlos, Rozane, Regina, Luís, Eulene, Eliane, Roseli.

Aos estagiários Daniela, Déborah, Mateus e Israel pela ajuda imprescindível nos momentos de maior sufoco.

Aos funcionários do DPS que sempre me ajudaram quando precisei, em especial à Zélia, uma grande amiga sempre disposta a me ajudar.

A todos que em algum momento contribuíram, direta ou indiretamente, para a conquista dessa vitória, em especial à ABU-P.

A Deus, presença constante em minha vida.

## **BIOGRAFIA**

Juliana Maria Nogueira Pereira, filha de Manoel Alves Pereira (in memoriam) e Maria Alves Nogueira, nasceu no dia 06 de outubro de 1973 em Bocaiúva – Minas Gerais.

Graduou-se em Engenharia Agrônômica na Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, em fevereiro de 1997. Foi bolsista de Aperfeiçoamento, pelo CNPq na área de Fertilidade do Solo na mesma instituição de março/1997 a fevereiro/1999.

Em 1999, começou o Curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas no Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de tese em março de 2001.

Em março de 2001, iniciou o Curso de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas na Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

## ÍNDICE

RESUMO .....	viii
ABSTRACT .....	x
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
2.1. Metais pesados no ambiente .....	3
2.1.1. Cádmio .....	4
2.1.2. Chumbo .....	5
2.1.3. Cobre .....	6
2.1.4. Zinco .....	6
2.1.5. Níquel .....	7
2.2. Metais pesados em plantas .....	8
2.2.1. Cádmio .....	8
2.2.2. Chumbo .....	10
2.2.3. Cobre .....	11
2.2.4. Zinco .....	12
2.2.5. Níquel .....	13
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	14
3.1. Montagem dos experimentos .....	14
3.2. Distribuição dos tratamentos .....	17
3.3. Condução do experimento com alface .....	18

3.4. Condução do experimento com feijão .....	19
3.5. Análise química das amostras de material vegetal .....	20
3.6. Delineamento experimental e análise estatística .....	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	22
4.1. Teores de cádmio, chumbo, cobre, zinco e níquel na parte aérea de plantas de alface .....	22
4.1.1. Cádmio .....	22
4.1.2. Chumbo .....	24
4.1.3. Cobre .....	25
4.1.4. Zinco .....	27
4.1.5. Níquel .....	28
4.2. Produção de matéria seca por plantas de alface .....	30
4.3. Teores de cádmio, chumbo, cobre, zinco e níquel nas raízes, caules, folhas e grãos de plantas de feijão .....	37
4.3.1. Cádmio .....	37
4.3.2. Chumbo .....	41
4.3.3. Cobre .....	45
4.3.4. Zinco .....	49
4.3.5. Níquel .....	54
4.4. Produções de matéria seca de raízes, caules, folhas e vagens; número de vagens e peso médio de vagens de plantas de feijão .....	58
4.5. Teores de cádmio, chumbo, cobre, zinco e níquel, recuperados por Mehlich-3 nas amostras dos latossolos, após o cultivo com plantas de alface e feijão .....	69
4.6. Correlação entre o conteúdo e o teor de cádmio, chumbo, cobre, zinco e níquel na parte aérea de plantas de alface e nas folhas de plantas de feijão e os teores dos metais recuperados por Mehlich-3 ..	78
5. CONCLUSÕES .....	84
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	85
7. APÊNDICE .....	92

## RESUMO

PEREIRA, Juliana Maria Nogueira, D.S., Universidade Federal de Viçosa, março de 2006. **Doses de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni em latossolos: efeitos no solo e em plantas de alface e feijão.** Orientador: Renildes Lúcio Ferreira Fontes. Conselheiros: Júlio César Lima Neves e Víctor Hugo Alvarez V.

Objetivando estudar as absorções de cádmio, chumbo, cobre, zinco e níquel e suas respectivas distribuições em plantas de alface e feijão, foram conduzidos dois experimentos em casa de vegetação com variedades comerciais de alface (Regina de Verão) e feijão (Carnaval). As plantas foram cultivadas em doses crescentes de cádmio (0, 1, 2, 4, 8 e 16 mg/dm<sup>3</sup>), chumbo (0, 23, 46, 92, 184 e 368 mg/dm<sup>3</sup>), cobre (0, 8, 16, 32, 64 e 128 mg/dm<sup>3</sup>), zinco (0, 23, 46, 92, 184 e 368 mg/dm<sup>3</sup>) e níquel (0, 4, 8, 16, 32 e 64 mg/dm<sup>3</sup>), em vaso contendo 3 dm<sup>3</sup> de amostras de três Latossolos Vermelho-amarelo, com textura argilosa (LVA<sub>TG</sub>), média (LVA<sub>JP</sub>) e arenosa (LVA<sub>TM</sub>). Foi feita a correção de acidez dos solos (CaCO<sub>3</sub>:MgCO<sub>3</sub>, na proporção 4:1), para alcançar a saturação por bases de 60%, e, de acordo com a recomendação para as culturas, a fertilização básica com macro e micronutrientes. As plantas de alface foram coletadas 50 dias após a transferência das mudas para os vasos com os tratamentos. Para o feijão, duas plantas foram colhidas aproximadamente 50 dias após a semeadura (estádio R5) e as duas plantas restantes foram colhidas na maturação fisiológica dos grãos (estádio R9).

Amostras de solo foram coletadas para análise após a coleta do material vegetal. Para cada experimento foi utilizado o delineamento em blocos casualizados com três repetições. Os tratamentos foram distribuídos segundo uma matriz baconiana originada do esquema fatorial [1x3x(26)], sendo 1 espécie vegetal, 3 solos e 26 tratamentos. Foram determinados os teores de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni na parte aérea (PA) da alface e nas raízes, caule, folhas e grãos do feijão. Foram calculados os conteúdos desses metais nas partes das plantas. Os teores desses metais, no solo, foram determinados após extração com Mehlich-3 (M-3). Houve aumento dos teores dos metais na PA das plantas de alface, sendo que, de modo geral, esses teores na matéria seca (MS) ficaram acima do limite considerado tóxico para a cultura. Os teores dos metais calculados para a matéria seca da alface ficaram acima dos limites permitidos pela legislação para consumo humano. A produção de matéria seca (MS) da parte aérea de alface não foi afetada pelas doses dos metais Cd, Pb, Cu e Ni adicionadas aos solos (apenas para o Zn houve decréscimo). No feijão os teores de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni em todas as partes da planta aumentaram em função das doses adicionadas. Esses teores ficaram, de modo geral bem acima do limite considerado tóxico para a cultura. Os teores nos grãos ficaram acima do permitido pela legislação para consumo humano (exceção para o Cu). De modo geral, a produção de MS do feijão não foi afetada pela presença dos metais. As correlações significativas e altamente positivas observadas na relação entre os conteúdos e os teores de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni nas folhas do feijão e as quantidades desses elementos extraídas do solo pelo extrator M-3, indicam eficiência do extrator para avaliar a disponibilidade desses metais para essa cultura. Para a alface, as correlações entre conteúdos e teores dos elementos nas folhas e quantidades extraídas do solo pelo extrator M-3 foram altamente significativas apenas para Cd e Ni. Para o Cu essas correlações, apesar de significativas, ficaram abaixo de 50%. A correlação entre o Zn extraído do solo e o seu conteúdo na parte aérea da alface não foi significativa, já a correlação entre o extraído do solo e o seu teor na PA aérea foi altamente significativa. Para o Pb, apesar da correlação alta e positiva entre a quantidade extraída do solo e o seu conteúdo e teor na PA da alface, o coeficiente de determinação da equação de regressão linear ajustada foi inferior a 50%.

## ABSTRACT

PEREIRA, Juliana Maria Nogueira, D.S., Universidade Federal de Viçosa, March, 2006. **Doses of Cd, Pb, Cu, Zn and Ni in Oxissols: effects in soil and in plants of lettuce and common beans.** Adviser: Renildes Lúcio Ferreira Fontes. Committee members: Júlio César Lima Neves e Víctor Hugo Alvarez V.

Two experiments were carried out in greenhouse, aiming to study the absorption of cadmium, lead, copper, zinc and nickel and their distribution in plants of lettuce and common beans. The commercial cultivars of alfaca (Regina de Verão) and common beans (Carnaval) were grown under increasing doses of cadmium (0, 1, 2, 4, 8 and 16 mg/dm<sup>3</sup>), lead (0, 23, 46, 92, 184 and 368 mg/dm<sup>3</sup>), copper (0, 8, 16, 32, 64 and 128 mg/dm<sup>3</sup>), zinc (0, 23, 46, 92, 184 and 368 mg/dm<sup>3</sup>) and nickel (0, 4, 8, 16, 32 and 64 mg/dm<sup>3</sup>), in 3 dm<sup>3</sup> jars containing Red-yellow Latossolo (Oxissol), in three different textures: clayey (LVA<sub>TC</sub>), medium (LVA<sub>JP</sub>) and sandy (LVA<sub>TM</sub>). The soil samples were limed with CaCO<sub>3</sub>+MgCO<sub>3</sub> (ratio 4:1), to reach a percentage of base saturation equal to 60%, and fertilized with macro and micronutrients according to the crops requirement. Lettuce was harvested 50 days after the transplanting of the seedlings. For common beans, two plants were harvested 50 days after sowing (stage R5) and two left to be harvested at the physiological maturation of the grains (stage R9). After the plant sampling, soil samples were collected for analysis. For each experiment, it was used a randomly blocks experimental

design with three replications. The treatments were distributed based on a factorial design arranged as a factorial  $[1 \times 3 \times (26)] \times 3$ , with 1 plant species, 3 soils, 26 treatments and 3 replications. The aerial parts of lettuce plants and the roots, stems, leaves and grains of common beans plants were analysed for determination of Cd, Pb, Cu, Zn and Ni concentrations and the metal contents for the plant parts were calculated. The soil samples were also analysed for determination of Cd, Pb, Cu, Zn and Ni concentrations, after extraction with Mehlich-3 (M-3). There was increase of the metals concentrations in the aerial parts of the lettuce plants, as the doses applied to the soil increased. The metal concentrations in the lettuce dry matter were, in general, above the values considered toxic for the plant. In the fresh matter, the metal concentrations were above the limit allowed for human intake, by the Brazilian legislation. The dry matter yield of the lettuce plants was not affected by the doses of Cd, Pb, Cu and Ni added to the soils (only the added doses of Zn caused decrease). In common beans, the concentrations of Cd, Pb, Cu, Zn and Ni, in all plant parts, increased as a function of the doses added to the soil and were above the limit for metal toxicity for the crop. In the grains, the metal concentrations were above the values allowed by the Brazilian legislation for human intake (exception for Cu). In general, the dry matter yield of common beans was not affected by the metals added to the soils. There were positive and significant correlations between the contents of Cd, Pb, Cu, Zn and Ni in the common bean leaves and the concentrations of these metals in the soils, determined after extraction with M-3. This indicates efficiency of the extractor M-3 for evaluation of the availability of these metals for the common bean plants. For lettuce, the correlations between the contents and concentrations of the elements in leaves and their amounts extracted from soil with M-3 were highly significant only for Cd and Ni. For Cu, these correlations, although significant, were below 50 %. The correlation between the contents of Zn in lettuce leaves and its amounts extracted from soil with M-3 was not significant, however, the correlation between the Zn extracted with M-3 and its concentrations in the leaves was highly significant. For Pb, despite of the positive and high significance between the extracted from soil and the concentration and content in the aerial part, the coefficient of determination of the linear regression was below 50%.

## 1. INTRODUÇÃO

Existe uma grande preocupação com relação à presença de metais pesados no ambiente. O termo metal pesado engloba diversos elementos químicos da tabela periódica, alguns considerados essenciais às plantas e aos seres humanos, como Cu e Zn. Esta preocupação tem aumentado pelo aumento das concentrações desses elementos no ambiente devido às atividades antrópicas, visto que, os metais pesados encontram-se naturalmente no ambiente devido à sua existência nos materiais de origem dos solos.

Das diversas formas de introdução antropogênica dos metais pesados nos solos agrícolas destacam-se aquelas relacionadas à aplicação de pesticidas, fertilizantes minerais e adubos orgânicos provenientes de resíduos urbanos como composto de lixo e biossólidos.

Trabalhos têm sido conduzidos buscando avaliar qual o comportamento e qual o destino desses metais pesados no solo, após sua introdução. Verificou-se que presentes no solo, a maioria dos elementos, reage com componentes do complexo de troca podendo ainda, serem complexados pela matéria orgânica ou precipitados.

Entre as características químicas do solo, o pH desempenha papel fundamental na solubilidade e na disponibilidade de metais pesados. De maneira geral, o aumento do pH do solo diminui a disponibilidade dos metais por meio de reações de precipitação. Além do pH, o teor de matéria orgânica, a

presença de óxidos de Fe, Al ou Mn, a quantidade de argila também são responsáveis pelo comportamento e disponibilidade desses metais no solo.

Estando disponíveis na solução do solo estes elementos podem ser absorvidos e acumulados nos tecidos das plantas. Estudos mostram que os teores de metais nas raízes e parte aérea das plantas aumentaram com a elevação das suas concentrações na solução do solo (GUSSARSON et al., 1995, SOARES et al., 2001; PEREIRA, 2001; ANDRADE et al., 2003; MARSOLA et al., 2005).

Caso sejam absorvidos, os metais pesados, mesmo os micronutrientes, acima de certas concentrações são tóxicos para os vegetais, existindo grande variação entre as espécies na capacidade de absorver e translocar os metais para a parte aérea. Fatores, tais como o estágio de desenvolvimento da planta, o tempo de exposição ao metal e as diferentes espécies químicas dos elementos, podem interferir nesses aspectos, o que se reflete nos teores de metais nas diferentes partes da planta (ALLOWAY, 1990).

É importante ressaltar que o sucesso da monitoração dos metais pesados no solo depende, em parte, de um método químico eficiente para medir a fração desses elementos colocada à disposição das plantas. Para isso, vários têm sido os métodos desenvolvidos para prever o teor dos metais nas plantas a partir de seus teores nos solos; entre os mais utilizados encontram-se o Mehlich-3, Mehlich-1 e DTPA.

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a absorção e distribuição dos metais cádmio, chumbo, cobre, zinco e níquel em plantas de alface (*Lactuca sativa* L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivadas em três latossolos de diferentes texturas e mineralogias do estado de Minas Gerais.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Metais pesados no ambiente

Metais pesados são definidos como os elementos que possuem densidade atômica maior que  $6 \text{ g/cm}^3$ . Esse termo vem sendo usado mais amplamente na literatura científica e engloba um grupo de metais, semi-metais e até mesmo não metais (Se) que, normalmente, encontram-se associados à poluição, à contaminação e toxicidade, além de incluir alguns elementos que são essenciais aos seres vivos (Cu, Mn, Zn, Mo) (ALLOWAY, 1990).

Os metais pesados encontram-se presentes naturalmente no ambiente (fonte litogênica), devido à sua existência nos materiais de origem dos solos, sendo este muito importante na delimitação da concentração dos elementos na solução do solo. O teor natural dos metais pesados varia muito com o tempo de intemperismo e a composição química do material de origem. A composição elementar total no solo tem utilidade limitada, mas é importante conhecê-la para se ter idéia do seu teor no ambiente, tanto em estudos de contaminação e poluição, quanto em estudos pedológicos. Se um elemento pode representar um perigo iminente à cadeia alimentar, é importante avaliar sua disponibilidade e solubilidade no solo, uma vez que ambos vão estar relacionados com a mobilidade no solo e com a absorção pelas plantas (ALLEONI et al., 2005).

O aumento das concentrações de metais pesados nos solos de regiões agrícolas é resultado da deposição atmosférica, da aplicação de agrotóxicos, resíduos orgânicos e inorgânicos, fertilizantes e corretivos (AMARAL

SOBRINHO et al., 1996; ALLOWAY, 1990). A adição desses insumos tem provocado aumento contínuo no nível de poluição por metais pesados no ambiente, proveniente, em alguns casos, da matéria prima utilizada na produção destes insumos, implicando em danos consideráveis à agricultura, principalmente aos solos tropicais (latossolos e podzólicos) (AMARAL SOBRINHO et al., 1997).

### **2.1.1. Cádmio**

Numerosas atividades humanas resultam em lançamentos de grandes quantidades de Cd ao meio ambiente e as fontes individuais de Cd variam consideravelmente entre países. A emissão de Cd tem origem em duas grandes categorias, fontes naturais e antropogênicas, sendo a sua concentração em solos não contaminados dependente do teor na rocha de origem. Os solos derivados de rochas ígneas contêm entre 0,1 a 0,3 mg/kg, os oriundos de rochas metamórficas entre 0,1 a 1 mg/kg, enquanto nos provenientes das sedimentares o teor pode chegar a 10 mg/kg. Nas proximidades de minas de Zn, os teores podem chegar até centenas de mg/kg (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 2001).

Ker (1995), estudando Latossolos derivados de rochas básicas no Cerrado, encontrou teor médio de 10 mg/kg de Cd, sendo que estes teores estão bem acima do que poderia ser normalmente aceito para solos não contaminados. Para Kabata-Pendias e Pendias (2000), concentrações normais seriam < 1 mg/kg sendo o teor máximo permitido em solos agrícolas, na Europa, 3 mg/kg. Alloway (1990) define o valor crítico de Cd no solo variando de 3 a 8 mg/kg. Segundo relatório produzido pela CETESB, o valor de referência para Cd no solo é de < 0,5 mg/kg e o de alerta é de 3 mg/kg (CASARINI et al., 2001)

Estudos de especiação do Cd têm mostrado que, na solução do solo, a espécie predominante é  $Cd^{2+}$ . Dependendo do pH e de outros íons em solução, o metal pode, também, formar íons complexos tais como:  $[CdCl]^+$ ,  $[CdOH]^+$ ,  $[Cd(HCO_3)]^+$ . Entretanto, o mais importante estado de valência no ambiente natural é +2, e os principais fatores que controlam a mobilidade do íon Cd no solo são o pH e o potencial de oxidação (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 2001). Ainda segundo estes autores, a concentração e a especiação de um

metal, como o Cd, na solução do solo dependerão parcialmente da concentração dos ligantes na solução do solo e da constante de estabilidade dos complexos ligante-metal.

### **2.1.2. Chumbo**

O Pb é um dos metais mais abundantes no solo apresentando uma concentração média de 10 a 20 mg/kg. As maiores fontes naturais do elemento são emissões vulcânicas, e intemperismo geoquímico (ALLOWAY, 1990). Marques et al. (2002) fizeram um levantamento dos teores de metais em 45 solos da região do Cerrado encontrando teores médios de Pb iguais a  $10 \pm 5$  mg/kg. Campos et al. (2003) mediram os teores médios de Pb em diversos Latossolos obtendo valores médios de 22 mg/kg de Pb. Segundo a CETESB, num levantamento de solos no Estado de São Paulo, os valores variaram entre < 5 e 23,5 mg/kg de Pb (CASARINI et al., 2001).

O conteúdo natural de Pb no solo está relacionado ao material de origem, sendo em geral, ligeiramente mais elevado em solos derivados de rochas máficas. Este é um elemento calcofílico e sua forma geológica primária na natureza é a galena (PbS) (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 2001), cuja mineração visa também o aproveitamento de outros metais a ela associados como Ag, Au, Zn, Cd, Bi, As e Sb. Segundo estes mesmos autores, as características geoquímicas do Pb, em alguns casos, assemelham-se às dos metais alcalinos terrosos, o que determina a habilidade do Pb em deslocar K, Ba, Sr e Ca em minerais e sítios de adsorção, sendo por isso considerado um dos metais menos móveis, encontrando-se acumulado nos horizontes superficiais. O Pb associa-se principalmente a minerais de argila, óxidos de Mn, hidróxidos de Fe e Al e matéria orgânica (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 2001).

Segundo Alloway (1990) o valor crítico deste metal no solo varia de 100 a 400 mg/kg e pelo relatório da CETESB ficou estabelecido que o valor de alerta em solos do Estado de São Paulo é de 100 mg/kg. Neste mesmo relatório ficou estabelecido que o valor de referência é de 17 mg/kg (CASARINI et al., 2001).

### **2.1.3. Cobre**

Na litosfera, o Cu é considerado abundante e sua concentração atinge em média 70 mg/kg, enquanto que para a crosta terrestre é de 24 a 55 mg/kg, sendo a média mundial de 20 mg/kg (ALLOWAY, 1990). Ainda segundo este autor o valor crítico no solo varia de 60 a 125 mg/kg.

De acordo com relatório da CETESB, em levantamento feito no Estado de São Paulo, encontrou-se que o valor de referência ficou em 35 mg/kg e o valor de alerta ficou estabelecido em 60 mg/kg (CASARINI et al., 2001).

Encontra-se, no solo, quase que exclusivamente na forma  $\text{Cu}^{+2}$ , aparecendo em maior proporção adsorvido aos minerais de argila, aos hidróxidos de ferro e à matéria orgânica. Essas formas adsorvidas controlam a concentração desse metal na solução do solo sendo que a quase totalidade do Cu solúvel está na forma de complexos com a matéria orgânica (MALAVOLTA, 1980).

McLaren & Crawford (1973) observaram que os óxidos de Mn e a matéria orgânica foram os principais responsáveis pela adsorção do Cu, seguidos pelos óxidos de Fe e os minerais de argila, visto que a energia de ligação do Cu a esses componentes do solo decresceu na mesma ordem. Alguns solos de Minas Gerais, sem calagem, apresentaram predominância de Cu ligado à matéria orgânica. Porém, com o aumento do pH, passaram a dominar as formas adsorvidas, provavelmente, por adsorção específica nas frações óxidos de Fe e Mn que responderam por 27% do Cu total (NASCIMENTO, FONTES e MELICIO, 2003).

### **2.1.4. Zinco**

O teor de Zn presente em solos depende diretamente da concentração de Zn na rocha de origem. Porém, também depende de fatores como pH e conteúdo de matéria orgânica. Segundo Kabata-Pendias e Pendias (2001), a faixa comum nos solos varia de 10 a 300 mg/kg de Zn, sendo o valor médio de 50 mg/kg. Entretanto, estima-se que o conteúdo normal varie, sendo os menores teores encontrados nos solos derivados de granitos e gnaisses e os maiores apresentados por solos derivados de rochas sedimentares (KIEKENS, 1990). Em levantamento feito pela CETESB, em solos representativos do Estado de São Paulo, as concentrações de Zn variaram de 1,5 a 200 mg/kg, e

o valor de alerta estabelecido ficou em 300 mg/kg (CASARINI et al., 2001). Segundo Alloway (1990) o valor crítico para este metal varia 70 a 400 mg/kg.

As interações deste elemento no solo dependem de algumas características como: concentração do Zn e outros íons na solução do solo, espécie e quantidade de sítios de adsorção associados com a fase sólida do solo, concentração de todos os ligantes capazes de formarem complexos orgânicos de Zn, pH e potencial redox do solo (ALLOWAY, 1990). A mudança de um ou mais desses fatores resultará em alteração do equilíbrio global e ocorrerá a transferência de Zn de uma forma para outra, até que novo equilíbrio seja atingido (OLIVEIRA, 2002).

### **2.1.5. Níquel**

O Ni tem como principal origem geoquímica as rochas magmáticas (máficas e ultramáficas) que contêm até 3600 mg/kg do elemento. As rochas alcalinas e sedimentares apresentam baixos teores do metal. As emissões atmosféricas variam de 2 a 80 kg/km ao ano, provenientes de combustão de petróleo. O Ni pode também ser incorporado ao solo através do uso de calcários e de fertilizantes fosfatados, que podem conter até 300 mg/kg do metal. Nos biossólidos, sua presença deve-se aos esgotos de indústrias que o utilizam em ligas metálicas, em baterias e compostos eletrônicos, cosméticos e catalisadores (McGRATH, 1990). De acordo com esse mesmo autor, a reação do solo exerce grande influência na retenção do Ni, que se precipita facilmente na superfície dos óxidos.

McBride et al. (1997) encontraram relação linear entre a atividade ou solubilidade de vários metais pesados e as propriedades do solo como pH, matéria orgânica e a concentração total do metal. Segundo os autores a significância do conteúdo de matéria orgânica como indicador da atividade e solubilidade para vários metais sugere que esta freqüentemente domina reações de adsorção e complexação que controlam a atividade do metal livre.

Segundo Alloway (1990) o valor crítico de Ni no solo é de 100 mg/kg e pelo relatório da CETESB, ficou estabelecido para solos do Estado de São Paulo que o valor de referência é de 13 mg/kg e o teor de alerta é 30 mg/kg (CASARINI et al., 2001)

## **2.2. Metais pesados em plantas**

Concentrações excessivas de metais pesados em formas disponíveis no solo resultam em fitotoxidez. Kabata-Pendias e Pendias (2001) citam como possíveis causas dessa fitotoxidez: mudanças na permeabilidade da membrana celular, competição com metabólitos essenciais por sítios de ligação, afinidade para reagir com grupos fosfato e grupos atuantes de ADP e ATP, substituição de íons essenciais, ocupação de sítios essenciais para grupos como fosfato e nitrato.

As plantas apresentam variado grau de susceptibilidade à fitotoxidez e diferentes mecanismos de tolerância aos metais. Baker (1981) descreveu três estratégias de resposta das plantas a estes elementos: exclusão, indicadora e acumuladora. Berry (1986) também sugere três estratégias básicas de resposta da planta à presença de metais: a exclusão, a detoxificação e a tolerância bioquímica. Verkleij e Schat (1990) definem a exclusão como mecanismos de prevenção da planta contra a absorção excessiva de metais tóxicos, e a tolerância como um mecanismo para suportar o acúmulo excessivo desses metais. Entre os mecanismos de evitação, os autores citam alteração da permeabilidade da membrana, mudanças na capacidade de ligação do metal à parede celular e aumento da exsudação de substâncias quelantes de metais. Os mecanismos de tolerância citados são: produção de compostos intracelulares ligantes de metais, alterações no metabolismo celular, alteração na estrutura da membrana e, principalmente, alteração no padrão de compartimentalização de metais.

Segundo Kabata-Pendias e Pendias (2001), os seguintes teores aproximados dos metais no tecido foliar de diferentes espécies foram consideradas excessivas ou tóxicas: Cd, 5 a 30 mg/kg; Pb, 30 a 300 mg/kg; Cu, 20 a 100 mg/kg; Zn, 100 a 400 mg/kg; Ni, 10 a 100 mg/kg.

### **2.2.1. Cádmio**

As plantas variam grandemente na sua capacidade de absorver, acumular e tolerar Cd, sendo que a toxicidade em plantas manifesta-se por clorose nas folhas, murchamento e redução de crescimento (WEIGEL e JÄGER, 1980; SALVIANO, 1999).

O Cd é facilmente absorvido e translocado, sendo que esta absorção parece ser em competição, pelo mesmo transportador transmembrana, com nutrientes como K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn e Ni. Logo que o Cd entra nas raízes, pode alcançar o xilema através do caminho apoplástico e/ou simplástico (SALT et al., 1995), complexado por vários ligantes, como os ácidos orgânicos e/ou fitoquelatinas (CATALDO et al., 1983; SALT e RAUSER, 1995). Movimento do Cd das raízes para parte aérea ocorre claramente via xilema e é dirigido pela transpiração nas folhas. Evidência disto foi fornecida por Salt et al. (1995), mostrando que o fechamento dos estômatos induzidos por ABA reduziu acentuadamente a acumulação de Cd na parte aérea de mostarda indiana.

Normalmente, íons Cd são retidos, principalmente, nas raízes e somente pequenas quantidades são transportadas para parte aérea (CATALDO et al., 1983). Wong et al. (1984) verificaram, em plantas de *Brassica chinensis*, que a concentração de Cd foi maior nas raízes, seguida pelas folhas com o caule apresentando a menor concentração. Segundo os autores, estes resultados indicaram que o Cd não é completamente imobilizado nas raízes, mas, é translocado para as folhas. Os resultados também indicaram que com o aumento da concentração de Cd na solução ocorreu aumento correspondente do metal nas folhas, caule e raízes. Ocorreu também a translocação para as flores até a concentração de 1,0 µg/mL na solução nutritiva.

As plantas variam grandemente na sua capacidade de absorver, acumular e tolerar Cd. Teores de 0,02 mg/kg de Cd são considerados normais para o arroz (ALLOWAY, 1990). Diminuição nos conteúdos de clorofila e carotenóides são relatados como efeitos do Cd sobre as plantas. Esse elemento altera as taxas de absorção líquida de CO<sub>2</sub>, a transpiração, a eficiência do uso de água e a condutância estomática. O efeito deletério do Cd sobre a clorofila e sobre o desenvolvimento do cloroplasto influencia negativamente o processo fotossintético (PRASAD, 1995).

Os resultados encontrados por Khan & Khan (1983) na matéria seca do tomate e berinjela mostraram incremento significativo de 6 e 4,5% com a aplicação de Cd (3 mg/kg para tomate e 1,5 mg/kg para berinjela). Entretanto, quando foram aplicadas doses mais altas de Cd (12 mg/kg) houve decréscimo significativo na produção de 18,3 e 25% para o tomate e para a berinjela, respectivamente.

Van Assche et al., (1988) pesquisando o efeito do Cd e Zn em plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) observaram redução significativa do crescimento da parte aérea com o aumento da concentração desses metais. Cutler e Rains (1974), encontraram que existe interação competitiva na absorção entre Cd e Zn nos tecidos radiculares excisados de cevada. Root et al. (1975) examinaram o interrelacionamento entre Cd, Zn e Fe em plântulas de milho e observaram que com o aumento da concentração de Cd, a de Zn decresceu mas, o teor de Fe aumentou, tanto nas folhas como nas raízes. Os autores concluíram que Cd reduziu a concentração de Zn e que isto, por seu lado, causou um aumento na concentração de Fe.

### **2.2.2. Chumbo**

O Pb pode ser absorvido pelas plantas, provocando mudanças na permeabilidade das membranas celulares e interferindo nas reações com grupos tióis. Este metal apresenta afinidade para reagir com grupamentos fosfatos e grupos ativos da ADP e ATP (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 2001). É um elemento tóxico às culturas, sendo que concentrações excessivas de Pb interferem na divisão celular e inibem a extensão do sistema radicular, tendo efeito, principalmente, no alongamento das células das raízes.

Estudos da absorção de chumbo por *Brassica chinensis* mostraram que este elemento foi considerado praticamente imóvel nesta espécie, com as raízes acumulando grande quantidade e pouca translocação para as folhas e caule apesar das concentrações adicionadas à solução nutritiva (WONG et al. (1980) citados por WONG et al., 1984). Em plântulas de *Fagus sylvatica* L., concentrações de 44 mg/kg de Pb provocaram o espessamento das pontas das raízes e concentrações maiores que 55 mg/kg reduziram significativamente a massa das raízes (BALIGAR et al., 1998). Concentrações subtóxicas de Pb, no entanto parecem estimular o crescimento radicular (BALIGAR et al., 1998).

Os resultados encontrados por Khan & Khan (1983) na matéria seca do tomate e berinjela mostraram incremento significativo de 18,3 e 10% quando foram aplicados 75 mg/kg de Pb. Entretanto, quando foram aplicadas doses mais altas de Pb (600 mg/kg) houve decréscimo significativo na produção de 25 e 42,5% para o tomate e para a berinjela, respectivamente.

Em solos não contaminados, de maneira geral, a concentração de Pb nas folhas das plantas varia de 1 a 3 mg/kg, sendo teores na parte aérea acima de 20 mg/kg considerados altos, podendo causar fitotoxicidade (WALLACE e WALLACE, 1994). Abreu et al. (1998) utilizando estes valores para interpretação, classificaram teores encontrados em gramíneas colhidas próximas à uma indústria produtora de lingotes de chumbo, na região de Caçapava Velha (SP) como intermediários os teores 7,8; 5,1 e 16 mg/kg e alto o teor igual a 28,1 mg/kg.

### **2.2.3. Cobre**

Este elemento é absorvido pelas plantas como íon  $\text{Cu}^{2+}$  e altas concentrações de P, Mo e Zn podem diminuir o processo que é considerado ativo. Altas concentrações de Cu no meio, por sua vez, diminuem a absorção de Fe, Mo e Zn. A maioria das funções do Cu como nutriente estão baseadas na participação de compostos enzimáticos de Cu em reações redox (MARSCHNER, 1995). Este elemento é importante em vários processos fisiológicos como, fotossíntese, respiração, distribuição de carboidratos, redução e fixação do N, metabolismo de proteínas (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 2001).

As concentrações de Cu no xilema e floema variam de traços a 9,15  $\mu\text{g/mL}$  e parece estar correlacionada com as concentrações de aminoácidos. A mobilidade de Cu dentro dos tecidos das plantas é fortemente dependente da quantidade de Cu fornecida, sendo maior com suprimento de luxo. Contudo, Cu tem baixa mobilidade quando comparado com outros elementos nas plantas e a maioria do metal parece permanecer nas raízes e tecidos foliares até sua senescência e somente pequena quantidade pode ser retranslocada para órgãos jovens. Por isso, os órgãos jovens são usualmente os primeiros a desenvolver sintomas da deficiência de Cu (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 2001).

Os teores considerados fitotóxicos na parte aérea das plantas podem variar de 20 a 30 mg/kg (MARSCHNER, 1995) ou 20 a 100 mg/kg (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 2001) e ainda de 10 a 70 mg/kg (GUPTA, 2001), dependendo da espécie.

#### 2.2.4. Zinco

O Zn é absorvido, preferencialmente, como cátion divalente ( $Zn^{2+}$ ). No transporte à longa distância no xilema, o elemento é ligado a ácidos orgânicos ou transportado como cátion divalente livre. No floema encontram-se concentrações bastante altas, estando o Zn provavelmente complexado com solutos orgânicos de baixo peso molecular (KOCHIAN, 1991). As funções metabólicas do Zn estão baseadas na sua forte tendência de formar complexos tetraedrais com N, O e S, exercendo por meio desses complexos, papel funcional (catalítico) e estrutural em reações enzimáticas (MARSCHNER, 1995). Em plantas, o Zn auxilia as substâncias que atuam no crescimento e nos sistemas enzimáticos, é essencial para a ativação de certas reações metabólicas e, necessário para a produção de clorofila e formação dos carboidratos.

Os sintomas mais característicos da deficiência de Zn em dicotiledôneas são o crescimento interrompido, devido ao encurtamento dos internódios (roseta) e a diminuição drástica na área foliar. Sintomas de clorose e necrose em folhas mais velhas são efeitos secundários causados freqüentemente por toxidez de P ou B, pois em deficiência de Zn a permeabilidade da membrana plasmática das células das raízes ao P e também ao B é aumentada fazendo com que esses elementos sejam absorvidos em excesso, levando à toxidez (MARSCHNER, 1995).

Brune et al. (1994) discutiram os mecanismos de tolerância ao Zn em plantas e propuseram cinco mecanismos para regulação do Zn citoplasmático: 1) baixa absorção através da membrana plasmática, 2) sequestro em organela subcelular, 3) precipitação como sal insolúvel, 4) complexação por ligantes de baixo peso molecular e, 5) extrusão ativa através da membrana plasmática para o apoplasto. Apesar destas hipóteses ainda não terem sido completamente confirmadas, existe substancial evidência do mecanismo de sequestro celular. Vários transportadores têm sido encontrados para mediar o fluxo de Zn através da membrana celular incluindo tonoplasto (LASAT, 2002). Freqüentemente, a toxidez de Zn leva a clorose em folhas jovens, o que pode ser sintoma de deficiência induzida, por exemplo, de Fe, devido ao raio iônico similar do Zn com esse elemento (MARSCHNER, 1995).

Teores variando de 15 a 20 mg/kg, em folhas por peso seco, são considerados deficientes (MARSCHNER, 1995), e concentrações, segundo Pais & Jones Jr. (2000) variando de 10 a 100 mg/kg em plantas, estariam dentro da faixa ótima da maioria das culturas. Os níveis tóxicos críticos em folhas de plantas estão entre 100 e > 300 mg/kg de Zn na matéria seca (MARSCHNER, 1995). Em soja, fitotoxicidade de Zn resultando em 10% de redução no crescimento foi associado com 95 mg/kg de Zn nas folhas primárias e trifoliadas (RUANO et al., 1988).

### **2.2.5. Níquel**

O Ni foi incluído na lista dos micronutrientes essenciais para plantas superiores (BROWN, WELCH e CARY, 1987), mas, assim como os outros nutrientes, a separação entre a concentração ótima e a tóxica é muito estreita e apesar dos mecanismos de fitotoxicidade ainda serem pouco conhecidos, sabe-se que altos teores do metal nos tecidos vegetais inibem a fotossíntese e a respiração (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 2001).

O Ni na forma solúvel é prontamente absorvido pelas raízes e apresenta grande mobilidade na planta. Porém, a quantidade do metal absorvida pelas plantas depende da espécie vegetal, a concentração de Ni na matéria seca varia de 1 a 10 mg/kg (MARSCHNER, 1995).

O Ni, pode acumular-se nas folhas e grãos e apresenta valor crítico de concentração para vegetais em torno de 11 mg/kg de matéria seca. São relatados teores do metal de 0,22 a 0,34 mg/kg em grão de milho cultivado em solos não contaminados e de 1,6 a 5,2 mg/kg em solos tratados com bio sólido (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 2001).

De maneira geral, a toxicidade do Ni se expressa quando a sua concentração na matéria seca for maior que 50 mg/kg, com exceção das plantas acumuladoras e hiper acumuladoras (ADRIANO, 1986). Wang et al. (1997), aplicando dose de bio sólido de 60 ton/ha, relataram que o acúmulo de Ni em plantas de trigo foi maior nas folhas e caules do que nos grãos. Em plantas de feijão, Boareto et al. (1992) encontraram teores de 7,2 mg/kg de Ni nos grãos, para aplicações de doses de bio sólido em torno de 10 ton/ha, contra 0,9 mg/kg no tratamento testemunha.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Montagem dos experimentos

Utilizou-se amostras de três latossolos classificados como LVA (Latossolo Vermelho-Amarelo), coletadas na profundidade de 0 a 20 cm, oriundas dos municípios de Viçosa - MG (TG) de textura argilosa; Três Marias - MG (TM) de textura franco arenosa e João Pinheiro - MG (JP), de textura média. Após a coleta, amostras foram passadas em peneira com malha de 2 mm de abertura para caracterização química e física (Tabela 1).

Posteriormente, dois experimentos foram conduzidos em casa-de-vegetação do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, onde as espécies alface e feijão foram cultivadas em vasos plásticos com capacidade para 3 dm<sup>3</sup> de solo.

Na caracterização física foi determinada a textura, segundo o método da pipeta; a densidade do solo, segundo o método da proveta e o equivalente de umidade (EMBRAPA, 1997). A mineralogia foi determinada por meio de difração de raio-x (Figura 1). Posteriormente determinou-se a quantidade de Fe ditionito para cada solo (Tabela 2).

Especificamente para este trabalho, os solos foram identificados como:

LVA<sub>TG</sub> = Latossolo Vermelho-Amarelo oriundo de Viçosa

LVA<sub>TM</sub> = Latossolo Vermelho-Amarelo oriundo de Três Marias

LVA<sub>JP</sub> = Latossolo Vermelho-Amarelo oriundo de João Pinheiro

Tabela 1 – Características químicas e físicas das amostras dos solos utilizados no experimento

<b>Característica</b>	<b>LVA<sub>TG</sub></b>	<b>LVA<sub>TM</sub></b>	<b>LVA<sub>JP</sub></b>
pH em água (1:2,5)	4,11	5,12	5,05
pH em água após a calagem (1:2,5)	5,83	6,01	5,94
Matéria orgânica (dag/kg) <sup>1</sup>	5,40	1,80	2,01
P (mg/dm <sup>3</sup> ) <sup>2</sup>	0,60	2,10	1,10
K (mg/dm <sup>3</sup> ) <sup>2</sup>	13,00	29,00	23,00
Al <sup>3+</sup> (cmolc/dm <sup>3</sup> ) <sup>3</sup>	0,85	0,36	1,23
Ca <sup>2+</sup> (cmolc/dm <sup>3</sup> ) <sup>3</sup>	0,00	0,39	0,00
Mg <sup>2+</sup> (cmolc/dm <sup>3</sup> ) <sup>3</sup>	0,05	0,12	0,00
H + Al (cmolc/dm <sup>3</sup> ) <sup>4</sup>	7,90	3,50	4,50
Soma de bases (cmolc/dm <sup>3</sup> )	0,08	0,58	0,06
CTC efetiva (cmolc/dm <sup>3</sup> )	0,93	0,94	1,38
CTC a pH 7,0 (cmolc/dm <sup>3</sup> )	7,98	4,08	4,56
Saturação de bases (%)	1,00	14,20	1,30
Saturação de Al (%)	91,40	38,30	95,70
P-rem (mg/L) <sup>5</sup>	23,00	28,60	30,30
Cd (mg/dm <sup>3</sup> ) <sup>6</sup>	nd	nd	nd
Pb (mg/dm <sup>3</sup> ) <sup>6</sup>	nd	nd	nd
Cu (mg/dm <sup>3</sup> ) <sup>6</sup>	nd	nd	nd
Zn (mg/dm <sup>3</sup> ) <sup>6</sup>	nd	nd	nd
Ni (mg/dm <sup>3</sup> ) <sup>6</sup>	nd	nd	nd
Mn (mg/dm <sup>3</sup> ) <sup>6</sup>	1,83	2,85	5,52
Areia grossa (%) <sup>7</sup>	20	25	41
Areia fina (%) <sup>7</sup>	6	45	17
Silte (%) <sup>7</sup>	1	6	3
Argila (%) <sup>7</sup>	73	24	39
Classe textural	Muito argilosa	Franco-argilo-arenosa	Argilo-arenosa
Densidade do solo (kg/dm <sup>3</sup> ) <sup>8</sup>	1,04	1,39	1,29
Equivalente de umidade (dag/kg) <sup>8</sup>	30,20	9,50	13,20

1/ Método Walkley-Black (Defelipo e Ribeiro, 1981)

2/ Extrator Mehlich 1 (Defelipo e Ribeiro, 1981)

3/ Extrator KCl 1 mol/L (Defelipo e Ribeiro, 1981)

4/ Extrator Ca(OAc)<sub>2</sub> 0,5 mol/L, pH 7,0

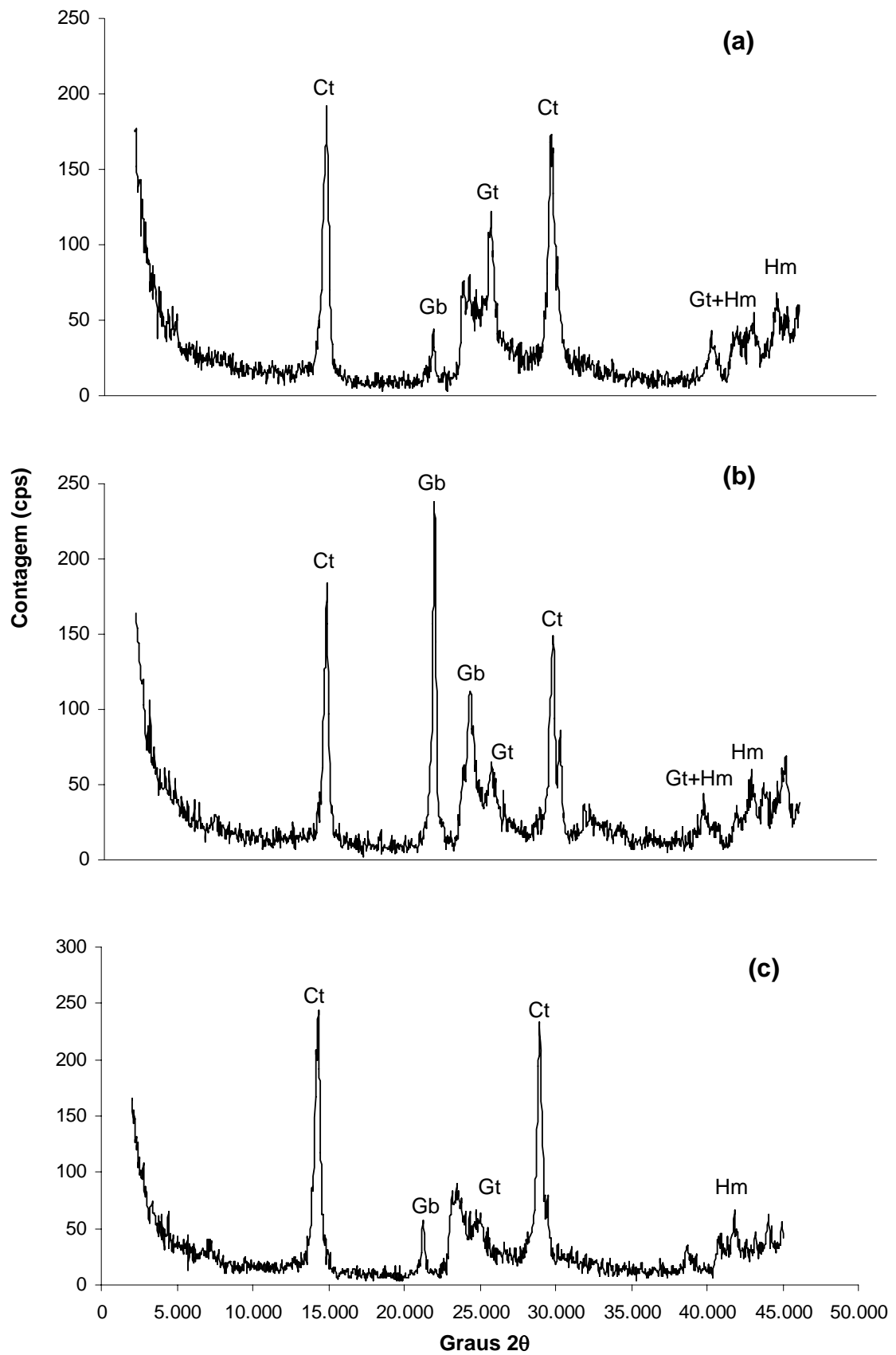
5/ Segundo Alvarez V. et al. (2000)

6/ Extrator Mehlich-3 (Mehlich, 1984)

7/ Método da Pipeta (EMBRAPA, 1997)

8/ EMBRAPA (1997)

nd = não detectado



Ct = Caulinita; Gb = gibbsita; Gt = Goethita e Hm = Hematita

Figura 1 – Difratoigramas de raios-x, da fração argila natural, das amostras dos solos LVA<sub>TG</sub> (a), LVA<sub>TM</sub> (b) e LVA<sub>JP</sub> (c).

Tabela 2 – Teores de óxidos<sup>1</sup> de ferro da fração argila dos latossolos utilizados no experimento

Latossolo	Hematita	Hematita+Goethita	Goethita
	----- g/kg -----		
LVA <sub>TG</sub>	87,23	92,11	96,99
LVA <sub>TM</sub>	81,80	86,37	90,95
LVA <sub>JP</sub>	73,50	77,61	81,73

Após a caracterização dos solos calculou-se a necessidade de calagem, para alcançar a saturação por bases (V) de 60%, segundo a CFSEMG (1999). Foi feita incubação da mistura com 4 mol de CaCO<sub>3</sub> para 1 mol de MgCO<sub>3</sub> com as amostras de solo, mantendo-se a umidade do solo na capacidade de campo por 30 dias. Após esse período, foram aplicadas as doses crescentes dos metais em solução na forma de nitrato, seguido de incubação por mais 17 dias com umidade do solo na capacidade de campo (estimada pelo equivalente de umidade), nas amostras de solo a serem utilizadas no experimento com feijão e 25 dias para o experimento com alface.

### 3.2. Distribuição dos tratamentos

Os tratamentos consistiram da adição de 6 doses, de cada metal pesado, estabelecidas de acordo com os níveis 0; 0,5; 1; 2; 4 e 8, combinadas segundo a Matriz Baconiana, sendo o número mínimo (Nmin) de tratamentos a testar determinado pela fórmula:

$$N_{\min} = \sum n - k + 1, \text{ onde}$$

$\sum n$  = somatório dos níveis dos fatores

k = número de fatores

Neste caso, o número mínimo de Tratamentos a testar foi estabelecido em 26 tratamentos, distribuídos de acordo com o Tabela 3.

As doses constantes no Tabela 2 foram estabelecidas com base em dados da literatura (ALLEONI et al., 2005; PEREIRA, 2001; ANDRADE et al., 2003), e levando-se em consideração a possibilidade destas doses permitirem o crescimento e desenvolvimento das espécies em estudo, pelo menos até o

<sup>1</sup> Para brevidade e simplicidade no texto, o termo geral 'óxidos' se refere a óxidos, hidróxidos e oxihidróxidos.

nível 1, que foram de 2, 46, 16, 46 e 8 mg/dm<sup>3</sup> para os metais Cd, Pb, Cu, Zn e Ni, respectivamente.

Tabela 3 – Distribuição das doses dos metais pesados de acordo com a Matriz Baconiana para os 26 tratamentos

Tratamento	Dose (mg/dm <sup>3</sup> )				
	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni
1*	0	0	8	23	4
2	1	0	8	23	4
3	2	0	8	23	4
4	4	0	8	23	4
5	8	0	8	23	4
6	16	0	8	23	4
7	0	0	0	23	4
8	0	0	16	23	4
9	0	0	32	23	4
10	0	0	64	23	4
11	0	0	128	23	4
12	0	0	8	0	4
13	0	0	8	46	4
14	0	0	8	92	4
15	0	0	8	184	4
16	0	0	8	368	4
17	0	0	8	23	0
18	0	0	8	23	8
19	0	0	8	23	16
20	0	0	8	23	32
21	0	0	8	23	64
22	0	23	8	23	4
23	0	46	8	23	4
24	0	92	8	23	4
25	0	184	8	23	4
26	0	368	8	23	4

\* O Tratamento 1 é o tratamento de referência ou controle.

### 3.3. Condução do experimento com alface

Após a incubação com os tratamentos aplicou-se, na forma de solução, 150 mg/dm<sup>3</sup> de P e 55,26 mg/dm<sup>3</sup> de N utilizando como fonte o NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> e 150 mg/dm<sup>3</sup> de K utilizando como fonte o KCl, nas amostras dos solos.

Foram transplantadas três mudas de alface (Variedade Regina de Verão) para cada vaso. Posteriormente foi feito o desbaste deixando-se uma planta de alface por vaso. Foi feita a aplicação dos micronutrientes 20 dias após o transplante. Para isto, aplicou-se na forma de solução 1 mg/dm<sup>3</sup> de B, 0,14 mg/dm<sup>3</sup> de Mo e 2,5 mg/dm<sup>3</sup> de S, utilizando-se como fontes H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>; Fe(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, respectivamente. Durante o ciclo da cultura, a umidade do solo foi mantida próxima da capacidade de campo, com água deionizada. Os vasos não possuíam drenagem e a quantidade de água a ser adicionada era estimada por pesagem.

Na coleta das plantas de alface, 50 dias após o transplante, a parte aérea foi cortada rente ao solo, colocada em saco de papel e levada à estufa de circulação forçada de ar para secagem e posterior pesagem para determinação do peso da matéria seca. Tentou-se fazer a separação das raízes do solo, mas, o procedimento utilizado não foi suficiente para permitir a retirada de raízes livres de solo, pois as raízes desenvolvidas eram muito finas e o solo ficou extremamente aderido às mesmas, então não foi determinada a produção de matéria seca de raízes.

As amostras de solo que estavam dentro dos vasos, foram secas ao ar e passadas em peneira de 2 mm de abertura de malha, quando foram retiradas amostras de aproximadamente 100 g, nestas, os teores disponíveis de P, K, Ca, Mg, Mn, Cd, Pb, Cu, Zn e Ni foram extraídos com Mehlich-3, segundo Mehlich (1984) seguido da determinação por espectrometria de emissão em plasma (ICP).

### **3.4. Condução do experimento com feijão**

Após a aplicação de P, N e K, nas mesmas dosagens e fontes utilizadas para o experimento com alface, foram semeadas 8 sementes de feijão por vaso. Foi utilizada a variedade Carnaval, fornecida pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado de Minas Gerais (EPAMIG). Após a germinação, foi feito o desbaste deixando-se quatro plantas por vaso. Foi feita a aplicação de B (0,5 mg/dm<sup>3</sup>) e S (10 mg/dm<sup>3</sup>) 20 dias após a semeadura, na forma de solução, utilizando-se como fonte H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> e Fe(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>. A aplicação do Mo (1,67 mg/vaso), via foliar, foi feita 30 dias após a semeadura, sendo utilizado como fonte o (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>.

Das quatro plantas de feijão que permaneceram no vaso após o desbaste, a parte aérea de duas plantas foram coletadas quando a maioria encontrava-se entre o máximo crescimento vegetativo (estádio V4) e início do florescimento, e as restantes foram cultivadas até a maturação fisiológica dos grãos (estádio R9).

A parte aérea das plantas colhidas no estágio V4, aproximadamente 50 dias após a semeadura, foram separadas em caule e folhas. Em seguida, o material foi colocado para secar em estufa de ventilação forçada a 65 °C até peso constante, sendo, então determinado o peso da matéria seca de caule (MSCL) e folhas (MSFL).

As duas plantas restantes no vaso foram cultivadas até a produção de vagens e quando alcançaram o ponto de colheita, estas foram retiradas, contadas para obtenção do número de vagens por planta (NVAG) e pesadas para determinação da matéria seca (MSVAG). Posteriormente, dividiu-se a MSVAG pelo NVAG para obter a peso médio das vagens por planta (PMVAG).

Após a coleta das vagens, as raízes foram separadas do solo por peneiramento seguido de lavagem em água deionizada. Após a lavagem, as raízes foram deixadas imersas por aproximadamente 12 horas em água deionizada. Posteriormente foram lavadas novamente com água deionizada, secadas com papel toalha, colocadas em saco de papel e levadas à estufa de circulação forçada de ar até alcançarem peso constante, quando foram pesadas e determinou-se o peso da matéria seca das raízes (MSRA).

Após a coleta das raízes, as amostras de solo foram secas ao ar e passadas em peneira de 2 mm de abertura de malha, seguindo o mesmo procedimento utilizado no experimento com alface para separação das amostras a serem utilizadas na análise química.

### **3.5. Análise química das amostras de material vegetal**

As amostras da parte aérea de alface e raízes, caule, folhas e sementes de feijão foram posteriormente trituradas em moinho tipo Wiley, para obtenção do material a ser utilizado nas análises químicas. Porções de 0,5 g destas amostras foram mineralizadas por digestão nítrico-perclórica, na proporção 3,5:1 (v/v) para posterior determinação dos teores de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni por Espectrofotometria de Plasma (ICP).

### 3.6. Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento utilizado, para cada experimento, foi blocos casualizados com 3 repetições e os tratamentos foram originados de esquema fatorial  $[1 \times 3 \times (26)] \times 3$ , sendo 1 espécie vegetal, 3 solos, 26 tratamentos, com 3 repetições, tendo-se no total 234 unidades experimentais.

Para testar o efeito de cada metal pesado nas características avaliadas, para os dois experimentos, dentro dos solos TG, TM e JP, o Tratamento 1 ou de referência foi considerado o tratamento controle para todos os metais. Neste caso, para cada solo, dentro de cada experimento, passou-se a ter um fatorial  $[(5 \times 6) \times 3]$ , ou seja, 5 metais aplicados em 6 doses crescentes em 3 repetições, obtendo-se 90 observações para cada solo e 270 observações para o experimento com alface e 270 observações para o experimento com feijão.

Na avaliação da produção média de matéria seca da parte aérea das plantas de alface, após a análise de variância, procedeu-se a comparação desta produção entre metais e entre solos por contrastes ortogonais, calculando-se posteriormente o contraste médio para expressar os resultados.

Para as plantas de feijão foi feita a comparação, por meio de contrastes ortogonais, das produções médias de matéria seca de raízes, caule, folhas, vagens, número de vagens por planta e peso médio de vagens entre os metais avaliados e entre os latossolos utilizados no experimento. Posteriormente, calculou-se o contraste médio para expressar os resultados.

Calculou-se a correlação de Pearson entre, os teores e conteúdos dos metais na parte aérea das plantas de alface e nas folhas das plantas de feijão e os teores dos metais extraídos das amostras dos solos por Mehlich-3, considerando-se o conjunto dos solos. Posteriormente, ajustou-se equações de regressão linear entre os teores e conteúdos de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni, nas plantas de alface e feijão, e os teores dos metais recuperados pelo extrator M-3 considerando-se o conjunto dos solos.

As equações de regressão foram testadas até o nível de 10 % de probabilidade para o valor de F. As análises foram efetuadas utilizando-se o *software* SAEG (Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas) da Universidade Federal de Viçosa.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Teores de cádmio, chumbo, cobre, zinco e níquel na parte aérea de plantas de alface

#### 4.1.1. Cádmio

Os teores máximos de Cd na parte aérea das plantas de alface, obtidos para as doses 14,99 mg/dm<sup>3</sup> para o solo LVA<sub>JP</sub>; 10,99 mg/dm<sup>3</sup> para o solo LVA<sub>TM</sub> e 14,05 mg/dm<sup>3</sup>, para o solo LVA<sub>TG</sub>, foram 360,24; 226,16 e 117,97 mg/kg, respectivamente (Figura 1). Pereira (2001) verificou que os teores nas folhas superiores e inferiores de plantas de alface, Variedade Regina de Verão, foram de 140,80 e 254,5 mg/kg para a dose de 9,6 mg/dm<sup>3</sup> de Cd aplicada ao solo. Gomes (1996) encontrou 40,43 e 54,71 mg/kg nas folhas superiores e inferiores de alface, respectivamente, para a dose de 7,2 mg/dm<sup>3</sup> de Cd aplicada ao solo.

Hamon et al. (1997) encontraram 2,18 mg/kg do metal na matéria seca de alface em solo com teor de 0,2 mg/kg de Cd. Em solos com concentrações de 2,1 a 5,6 mg/kg de Cd, folhas de alface apresentaram teores de 6 a 63,7 mg/kg de Cd (KIM et al., 1988). Os teores de Cd encontrados na parte aérea das plantas de alface no presente experimento são bem superiores aos encontrados pelos autores citados. Esta variação pode ocorrer devido a diferenças em condições experimentais. Assim como no presente trabalho, os teores encontrados na parte aérea das plantas ficaram acima do limite

considerado tóxico na literatura, que segundo Kabata-Pendias e Pendias (2001) varia de 5 a 30 mg/kg de Cd.

Na Figura 1, para os solos LVA<sub>TG</sub> e LVA<sub>JP</sub> os teores de Cd na parte aérea das plantas de alface aumentaram com o aumento das doses aplicadas aos solos. Contudo, para o solo LVA<sub>TM</sub> o comportamento foi atípico, pois, na dosagem mais alta houve até uma diminuição do teor de Cd na parte aérea das plantas de alface.

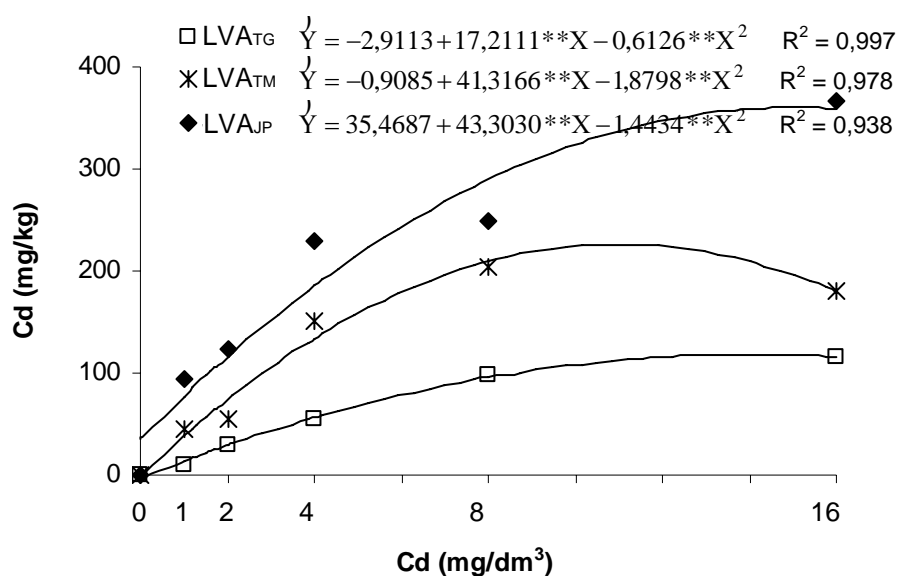


Figura 1 – Equações de regressão entre doses de Cd aplicadas em três solos (LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>) e teores do elemento na parte aérea de alface.

Segundo Gomes (1996) esta grande quantidade de Cd absorvida pelas plantas de alface está de acordo com a maior solubilidade deste elemento no solo. Segundo Araújo et al. (2002) a adsorção não-específica de Cd pela formação de complexos de esfera externa, exerce papel importante na retenção deste elemento nos solos, este tipo de adsorção explica a mobilidade e biodisponibilidade do Cd no solo.

No presente trabalho, a maior disponibilidade ocorreu no solo LVA<sub>JP</sub> (textura média), seguido do LVA<sub>TM</sub> (textura arenosa) e por último do LVA<sub>TG</sub> (textura argilosa). A menor disponibilidade no LVA<sub>TG</sub> era esperada, principalmente, devido à maior quantidade de argila e matéria orgânica (Tabela 1) neste solo quando comparado aos demais, além dos maiores teores de óxidos de Fe (Tabela 2).

Os maiores teores de Cd na parte aérea das plantas de alface cultivadas no solo LVA<sub>JP</sub> em relação aos teores encontrados na parte aérea das plantas crescidas no LVA<sub>TM</sub> não era esperado, visto que o solo LVA<sub>JP</sub> possui maior teor de argila que o LVA<sub>TM</sub>. Mas, não apenas a quantidade, mas também, a qualidade da fração argila também é importante e, provavelmente, a maior quantidade de do óxido de alumínio (gibbsita) e óxidos de Fe presentes na fração argila do LVA<sub>TM</sub>, influenciou no resultado.

#### 4.1.2 Chumbo

Os teores de Pb encontrados na parte aérea das plantas de alface foram bem distintos entre os solos (Figura 2). Para o LVA<sub>TG</sub>, não ocorreu o ajuste de nenhum modelo matemático e o teor médio encontrado ficou em 3,67 mg/kg de Pb indicando uma forte retenção de Pb pelo solo. Para o LVA<sub>TM</sub>, observou-se aumento linear dos teores de Pb na planta com o aumento da quantidade de Pb aplicado ao solo e para maior dose aplicada o teor estimado na parte aérea das plantas de alface foi de aproximadamente 110 mg/kg de Pb. Esse valor mostra que o LVA<sub>TM</sub> retém menos Pb.

Os teores de Pb determinados na parte aérea das plantas cultivadas no solo LVA<sub>JP</sub>, de textura média, foram maiores do que os encontrados para os outros solos. O teor estimado para maior dose aplicada (368 mg/dm<sup>3</sup>) alcançou aproximadamente 580 mg/kg de Pb, mostrando claramente que este solo é o que possui a menor capacidade de reter Pb.

Smilde (1981) aplicou, em substrato, 1000, 2000 e 3000 mg/kg de Pb, na forma de nitrato, e lodo de esgoto com 520 mg/kg de Pb. Ele observou aumento nos teores de Pb nas folhas de alface com o aumento da dose de Pb aplicada ao solo, sendo que para a maior dose esse teor chegou a 20,6 mg/kg. Esse teor foi bem inferior ao encontrado no presente experimento quando comparado com os observados para os latossolos LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>, entretanto, deve-se observar que o lodo de esgoto utilizado por esse autor apresentava elevado teor de matéria orgânica (44 dag/kg) o que provavelmente reduziu a disponibilidade de Pb para as plantas de alface.

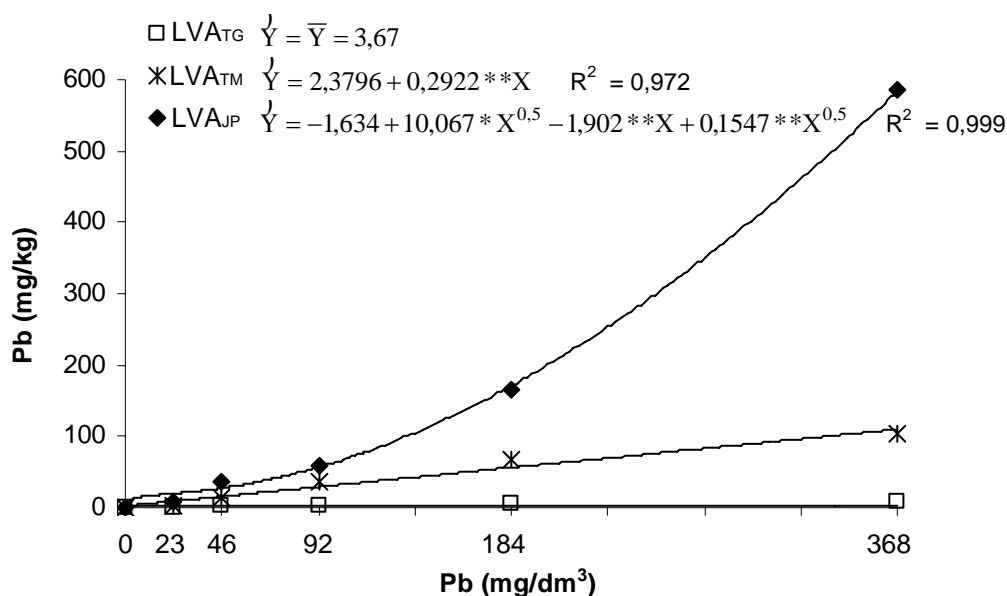


Figura 2 – Equações de regressão entre doses de Pb aplicadas em três solos (LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>) e teores do elemento na parte aérea de alface.

Os teores de Pb encontrados na parte aérea das plantas de alface cultivadas nos solos LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub> encontram-se dentro da faixa considerada fitotóxica para a maioria das culturas, que segundo Kabata-Pendias e Pendias (2001), varia de 30 a 300 mg/kg.

Novamente, observou-se que a textura argilosa do LVA<sub>TG</sub> e a presença de goethita reduziu a disponibilidade deste elemento para as plantas de alface. O mesmo comportamento observado para o Cd, foi também observado para os teores de Pb na parte aérea das plantas de alface no que diz respeito á maior disponibilidade deste elemento para as plantas cultivadas no LVA<sub>JP</sub>, provavelmente devido aos fatores mencionados anteriormente.

#### 4.1.3. Cobre

Com base na equação de ajuste entre as doses de Cu aplicadas ao solo e os teores de Cu nas plantas, para o LVA<sub>TG</sub>, a dose de 71,03 mg/dm<sup>3</sup>, resultou em teor nas folhas igual a 11,35 mg/kg. Para o LVA<sub>TM</sub>, a dose 104,50 mg/dm<sup>3</sup> de Cu no solo, resultou em teor na parte aérea igual a

13,06 mg/kg de Cu. Para as plantas cultivadas no LVA<sub>JP</sub>, na dose estimada de 86,80 mg/dm<sup>3</sup> os teores na folha chegaram a 27,33 mg/kg.

Assim como observado por Gomes (1996), nota-se que os teores de Cu na parte aérea das plantas de alface cultivadas nos solos LVA<sub>TG</sub> e LVA<sub>TM</sub>, não aumentaram com as maiores doses de Cu adicionadas, indicando regulação na absorção e translocação deste elemento. Baixa absorção de Cu pela planta também foi observada por Sloan et al. (1997) citados por Marsola et al. (2005) em folhas de alface, cultivada em solo contaminado com Cu.

Marsola et al. (2005) verificaram que o teor de Cu na raiz do feijoeiro foi cerca de 3 a 10 vezes superior ao da parte aérea. Segundo os autores a grande diferença entre as concentrações de Cu da parte aérea e da raiz sugere que a planta possui um mecanismo que reduz a difusão do cátion pelo interior do tecido, protegendo-o da intoxicação. Isto pode ter acontecido neste experimento, o que explicaria o não aumento dos teores na parte aérea com o aumento das doses de Cu adicionadas.

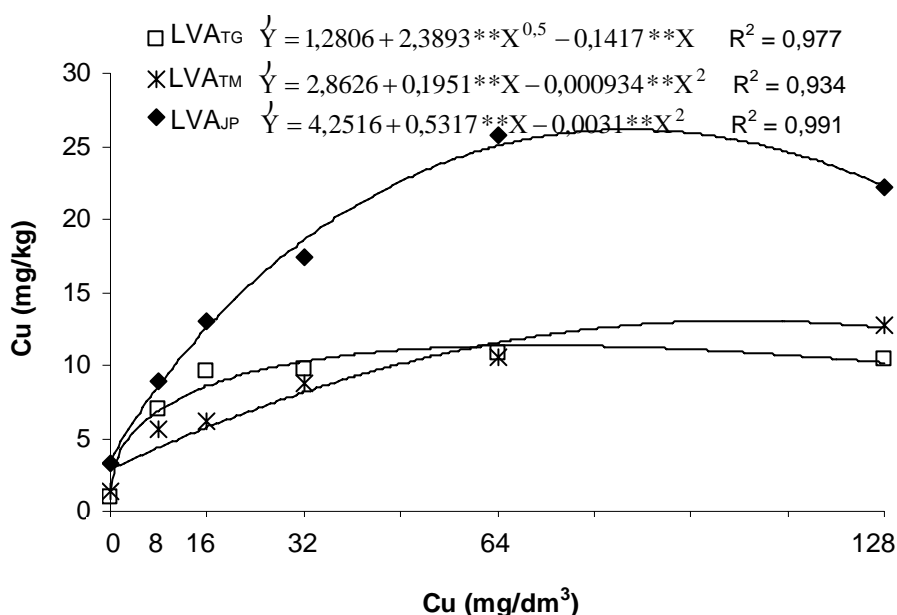


Figura 3 – Equações de regressão entre doses de Cu aplicadas em três solos (LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>) e teores do elemento na parte aérea de alface.

O mesmo não foi observado nas plantas cultivadas no LVA<sub>JP</sub>, onde os teores de Cu na parte aérea das plantas aumentaram de acordo com a quantidade do metal adicionada ao solo. Isto evidencia as interações existentes

entre o solo e a planta na regulação da disponibilidade do Cu na solução do solo e a capacidade de absorção do metal pelas plantas de alface.

Nos solos LVA<sub>TG</sub> e LVA<sub>TM</sub>, os teores de Cu na parte aérea das plantas de alface, para as doses aplicadas, ficaram dentro da faixa considerada adequada para essa cultura que varia de 7 a 20 mg/kg de Cu segundo Trani e Raij (1996). Apenas os teores de Cu na matéria seca das plantas cultivadas no solo LVA<sub>JP</sub> alcançaram valores considerados fitotóxicos os quais segundo Marschner (1995) variam de 20 a 30 mg/kg enquanto para Kabata-Pendias e Pendias (2001) variam de 20 a 100 mg/kg de Cu.

#### 4.1.4. Zinco

Calculados pelas equações de ajuste entre as doses de Zn aplicadas aos solos e os teores de Zn nas plantas de alface, os teores máximos de Zn na parte aérea foram 1386,38 e 2031,95 mg/kg para as doses 306,36 e 254,26 mg/dm<sup>3</sup> aplicadas aos latossolos LVA<sub>TG</sub> e LVA<sub>TM</sub>, respectivamente (Figura 4). No LVA<sub>JP</sub> os valores calculados mostraram 3067,45 mg/kg de Zn nas plantas para a dose 281,13 mg/dm<sup>3</sup> (Figura 4). Hamon et al. (1997) encontraram na matéria seca de plantas de alface cultivadas por 28 dias em solo com 80 mg/kg de Zn, aproximadamente, 160 mg/kg de Zn.

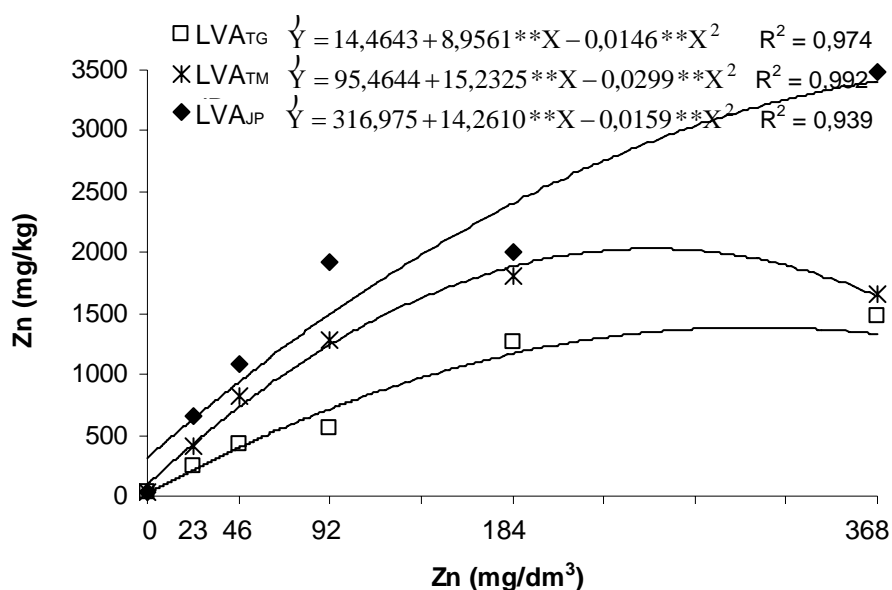


Figura 4 – Equações de regressão entre doses de Zn aplicadas em três solos (LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>) e teores do elemento na parte aérea de alface.

Kim et al. (1988) encontraram na matéria seca de folhas de alface crescidas em seis solos com concentrações de Zn iguais a 107, 147, 231, 250, 281 e 309 mg/kg, teores de Zn na planta iguais a 52,5; 58,0; 116,3; 354; 75,8 e 137 mg/kg, respectivamente.

Os maiores teores de Zn na parte aérea das plantas de alface encontrados no presente experimento, em relação aos encontrados por Kim et al. (1988) podem ter sido devidos à forma aqui utilizada para o metal (nitrato de zinco) que é prontamente disponível para as plantas e também pelo menor volume de solo aqui utilizado ( $3 \text{ dm}^3$ ) em comparação ao volume utilizado por aquele autor ( $10 \text{ dm}^3$ ).

Em experimento conduzido por Pereira (2001) para a maior dose de Zn ( $36 \text{ mg/dm}^3$ ) aplicada a um solo de textura média, foi encontrado aproximadamente, 1847 mg/kg de Zn na parte aérea de plantas de alface.

Os teores de Zn na parte aérea das plantas de alface encontrados no presente experimento e no conduzido por Pereira (2001) ficaram bem acima da faixa estabelecida como tóxica, para maioria das culturas por Kabata-Pendias e Pendias (2001) que varia de 100 a 400 mg/kg de Zn.

Com relação à diferença entre os solos na quantidade de Zn absorvida pelas plantas de alface, assim como observado para Cd, a menor disponibilidade observada no LVA<sub>TG</sub>, provavelmente, foi devida à textura argilosa deste, promovendo a maior adsorção do metal, assim como, devido ao maior teor de óxido de ferro (Tabela 2).

#### **4.1.5. Níquel**

Para Ni, observou-se aumento nos teores do metal na parte aérea das plantas de alface com o aumento das doses adicionadas para os três solos (Figura 5). Os menores teores foram encontrados no LVA<sub>TG</sub>, sendo que, para a maior dose de Ni aplicada o teor na planta ficou em 41,89 mg/kg. Para os solos LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>, para esta dose de Ni os teores nas plantas ficaram em 232,26 e 170,87 mg/kg, respectivamente. Esses teores estão na faixa ou acima da faixa que são considerados fitotóxicos. Para Marshner (1995) essa faixa varia de de 10 a 50 mg/kg de Ni e, para Kabata-Pendias e Pendias (2001), varia de 10 a 100 mg/kg.

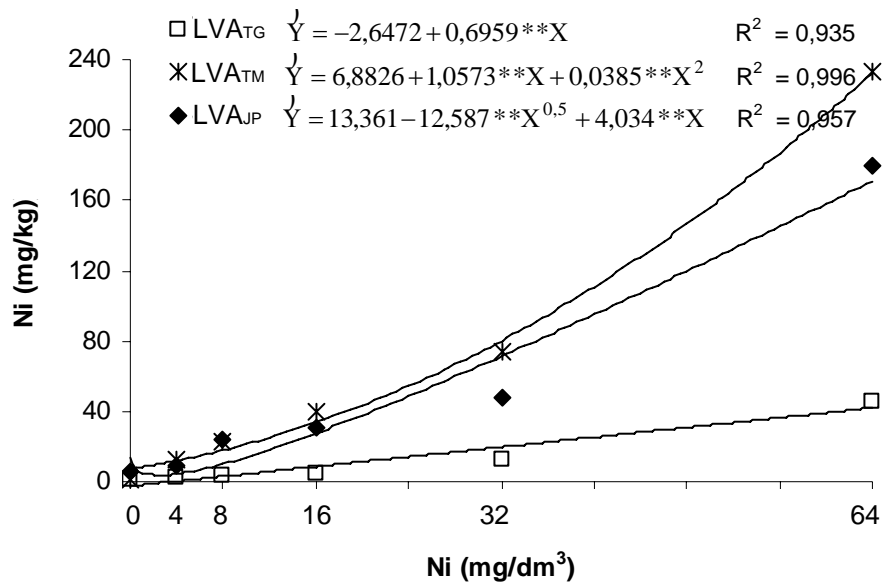


Figura 5 – Equações de regressão entre doses de Ni aplicadas em três solos (LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>) e teores do elemento na parte aérea de alface.

Dunemam et al. (1991), estudando a disponibilidade de Ni para aveia cultivada em solução nutritiva e em solução extraída do solo, notaram que a absorção do elemento pelas plantas de aveia diminui significativamente com o aumento da concentração do quelante DTPA na solução nutritiva, ou com o aumento na concentração de carbono de compostos orgânicos dissolvidos na solução extraída do solo, o que evidencia a afinidade do Ni por ligantes orgânicos. Isto explicaria os menores teores de Ni encontrados na parte aérea das plantas cultivadas no LVA<sub>TG</sub>, que apresenta maior teor de matéria orgânica.

Ao contrário do observado para os outros metais, os teores de Ni na parte aérea das plantas de alface cultivadas no LVA<sub>TM</sub> foram maiores que os teores de Ni encontrados na parte aérea das plantas cultivadas no LVA<sub>JP</sub>.

Com base em informação da literatura (FURLANI et al., 1978) de que a parte aérea de alface possui em torno de 950 g/kg de água, os teores máximos estimados na parte aérea das plantas expressos em matéria seca foram convertidos para matéria fresca (Tabela 6).

Apenas para o Cu, os teores estimados na matéria fresca ficaram abaixo do limite máximo permitido pela legislação (Tabela 6).

Tabela 6 – Teores máximos estimados de metais na matéria fresca de plantas de alface (Variedade Regina de Verão)

Metal	Solo	LVA <sub>TG</sub>	LVA <sub>TM</sub>	LVA <sub>JP</sub>	Teores máximos permitidos (ABIA, 1985)
		----- mg/kg -----			
Cd		5,90	11,31	18,01	1,0
Pb		0,18	5,50	29,00	0,5
Cu		0,57	0,65	1,37	30,0
Zn		69,32	101,60	153,37	50,0
Ni		2,09	11,61	8,54	5,0

Para o Cd e o Zn, ao contrário do encontrado para Cu, os teores estimados ficaram acima do limite permitido, especialmente no LVA<sub>JP</sub>, cujos teores de Cd ficaram aproximadamente 18 vezes acima do limite permitido. Para Pb e Ni os teores estimados no LVA<sub>TG</sub> ficaram abaixo do limite, mas, nos solos LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub> estes teores ficaram bem acima do permitido, sendo que para Pb, estes ficaram seis vezes acima do permitido pela legislação.

No LVA<sub>JP</sub>, com exceção do Cu, todos os teores estimados ficaram bem acima do permitido pela legislação o que se torna preocupante, visto que as plantas não apresentaram redução na produção de matéria seca (exceto para Zn) como será discutido a seguir.

#### 4.2. Produção de matéria seca da parte aérea de plantas de alface

Apesar dos altos teores de Cd encontrados na parte aérea das plantas de alface (Figura 1), não foi observada redução na produção de matéria seca das plantas. Este dado é importante porque evidencia a capacidade que esta espécie possui de tolerar esse metal.

Segundo Prasad (1995) a tolerância a metais pesados é conferida por mecanismos fisiológicos específicos que permitem que as plantas cresçam normalmente apesar da presença de altas concentrações de elementos potencialmente tóxicos.

Ainda segundo este autor, a sequestração deste metal pelas plantas seria uma importante estratégia, e esse papel seria exercido por ligantes intracelulares como fitoquelatinas que reduzem a toxicidade citoplasmática do

metal pesado pela complexação. O complexo fitoquelatina-Cd é menos tóxico para o metabolismo celular das plantas que o íon metálico livre.

Pereira (2001) encontrou reduções de 47 e 51% na matéria seca das variedades de alface Mimosa e Regina de Verão, com teores de Cd na parte aérea iguais a 129,20 e 395,30 mg/kg, respectivamente, quando se comparou plantas submetidas a 9,6 mg/dm<sup>3</sup> de Cd com as testemunhas (ausência de Cd).

Macnicol e Beckett (1985) observaram que teores de Cd variando de 43 a 67 mg/kg nas folhas de alface, cultivadas por 8 semanas em solo com pH 5,7 causaram redução de 10% no crescimento das plantas.

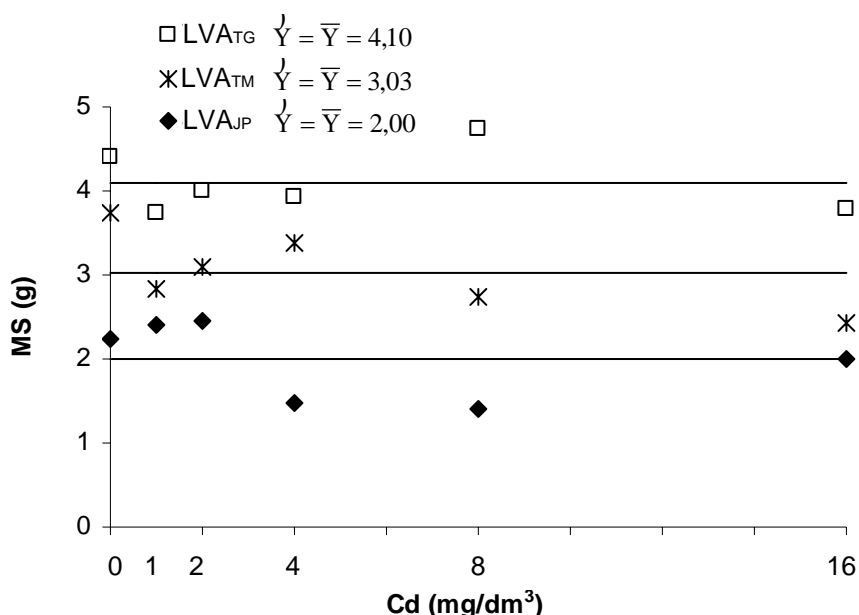


Figura 6 – Equações de regressão para produção de matéria seca (MS) da parte aérea de plantas de alface submetidas a doses crescentes de Cd aplicadas em três solos (LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>).

Utilizando solução nutritiva, Page et al. (1972) avaliaram o efeito do Cd em diversas espécies, encontrando redução de 50% no crescimento de plantas de alface e milho quando a concentração deste metal era de 1 µg/mL. Segundo os autores, tomate e cevada foram as espécies mais tolerantes requerendo 5 µg/mL para causar redução de 50% no crescimento. Os teores nas folhas, associados com esta redução, foram de 320, 230, 570 e 120 mg/kg para alface, milho (sweet corn), tomate e cevada, respectivamente.

Os altos teores de Pb encontrados na parte aérea da plantas de alface não causaram redução na produção de matéria seca das plantas quando comparado com o controle (Figura 7).

Por outro lado, Balba et al. (1991) verificaram que a adição de  $Pb(NO_3)_2$  em solo reduziu significativamente a produção de matéria seca do tomateiro. Khan e Khan (1983) verificaram aumento na produção de matéria seca do tomateiro e beterraba quando aplicaram 75 mg/kg de Pb. No entanto, nesse mesmo trabalho na maior dose aplicada (600 mg/kg) ao solo de textura arenosa, a produção de matéria seca foi significativamente reduzida em 25 e 42,5% para tomate e beterraba, respectivamente.

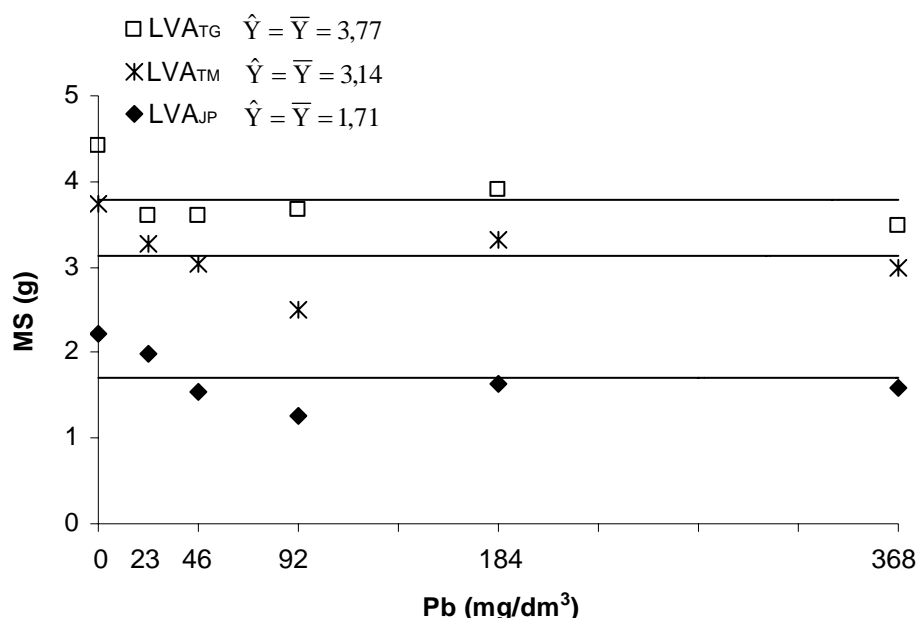


Figura 7 – Equações de regressão para produção de matéria seca (MS) da parte aérea de plantas de alface submetidas a doses crescentes de Pb aplicadas em três solos (LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>).

Assim como observado para Cd e Pb, os teores de Cu não causaram redução na produção de matéria seca da parte aérea das plantas de alface (Figura 8). Smilde (1981) também verificou que a adição de doses crescentes de Cu não afetou a produção de matéria seca da parte aérea de plantas de alface.

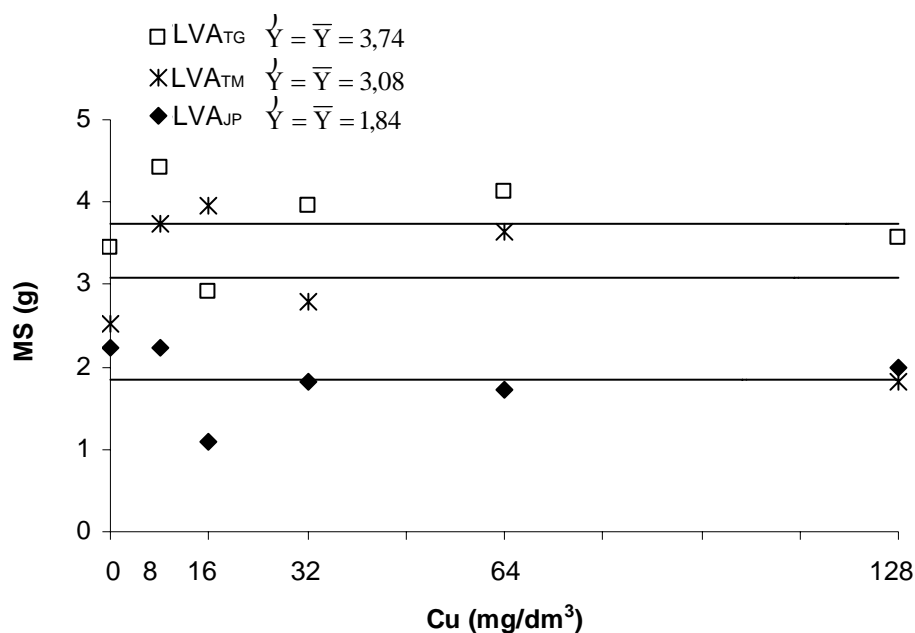


Figura 8 – Equações de regressão para produção de matéria seca (MS) da parte aérea de plantas de alface submetidas a doses crescentes de Cu aplicadas em três solos (LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>).

Os altos teores de Zn na parte aérea das plantas de alface causaram redução nas produções de matéria seca. Estimadas pelas equações ajustadas, essas produções mostraram quedas de 91, 88 e 57% para os solos LVA<sub>TM</sub>, LVA<sub>JP</sub> e LVA<sub>TG</sub>, respectivamente quando comparou-se, a maior dose aplicada (368 mg/dm<sup>3</sup>) com a ausência de Zn (Figura 9).

Para o LVA<sub>TG</sub>, segundo o modelo ajustado, todas as doses aplicadas resultaram em decréscimo na produção de MS da parte aérea em relação à dose zero, ou seja, o teor naturalmente disponível no solo já era suficiente para permitir o crescimento das plantas (Figura 9). Entretanto, esta diferença de resposta à dose zero de Zn não é corroborada pelos teores iniciais encontrados nos solos determinados pelo extrator Mehlich-3 (Tabela 1).

Para o LVA<sub>TM</sub>, com a dose de 23 mg/dm<sup>3</sup> de Zn houve acréscimo de 24% na produção de MS e no LVA<sub>JP</sub> esse acréscimo foi de 58%. Aery e Jagetiya (1997) observaram em cevada, acréscimo de 13,29 e 9,15% nas raízes e parte aérea, respectivamente, para a dose de 11,40 mg/kg de Zn. Além dessa dose observaram decréscimo significativo em relação ao controle tanto para raízes como para a parte aérea.

Essa redução após uma determinada dose foi observada no presente experimento, uma vez que em doses superiores a 23 mg/dm<sup>3</sup> observou-se decréscimo na produção de matéria seca das plantas de alface para os latossolos LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>.

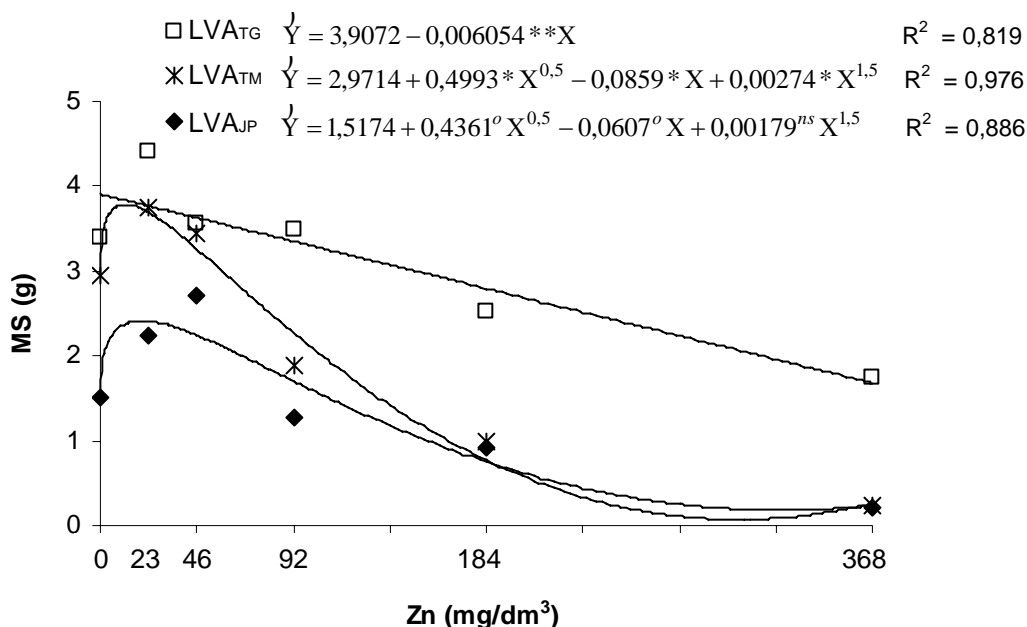


Figura 9 – Equações de regressão para produção de matéria seca (MS) da parte aérea de plantas de alface submetidas a doses crescentes de Zn aplicadas em três solos (LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>)

Smilde (1981), trabalhando com lodo de esgoto, aplicou 1000, 2000 e 3000 mg/kg de Zn na forma de acetato e verificaram que a adição de 2000 mg/kg de Zn no substrato foi tóxico para as plantas de alface. Segundo os autores a concentração do metal na folha associada com 20% de redução na produção de matéria seca foi de 430 mg/kg.

Pereira (2001) encontrou, aproximadamente, 1847 mg/kg de Zn na parte aérea de plantas de alface (Variedade Regina de Verão) para maior dose de Zn aplicada ao solo (36 mg/dm<sup>3</sup>). Apesar do alto teor encontrado, não foi observada redução na produção de matéria seca da parte aérea, com o aumento da concentração do metal no latossolo de textura média utilizado no experimento. Já no presente experimento com a mesma variedade, na dose de 368 mg/dm<sup>3</sup> de Zn, a concentração de Zn na parte aérea das plantas de alface ficou em média, para os 3 latossolos, em 2160 mg/kg e, ao contrário do observado por Pereira (2001), o crescimento das plantas foi afetado.

Não foi observado efeito de Ni na produção de matéria seca da parte aérea de plantas de alface (Figura 10). Provavelmente, no presente experimento ocorreu a atuação de algum mecanismo de tolerância com a complexação do metal que não foi tóxico para as plantas de alface. Esta tolerância, assim como observado em espécies hiperacumuladoras, pode ter sido alcançada principalmente pela complexação do Ni com ácidos orgânicos, em particular, ácidos málico e cítrico seguido de compartimentação no vacúolo (HOMER et al.,1991 citados por KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 2001). Segundo Krämer et al. (2000) o vacúolo é conhecido por ser predominantemente o local para armazenamento de ácidos orgânicos como citrato e malato na célula. É também conhecido que o citrato é hábil para efetivamente quelatar o Ni no pH ácido do vacúolo confirmando a hipótese que a compartimentação de Ni no vacúolo, predominantemente na forma de um complexo Ni-ácido orgânico, desempenha um importante papel na tolerância ao metal em espécies hiperacumuladoras.

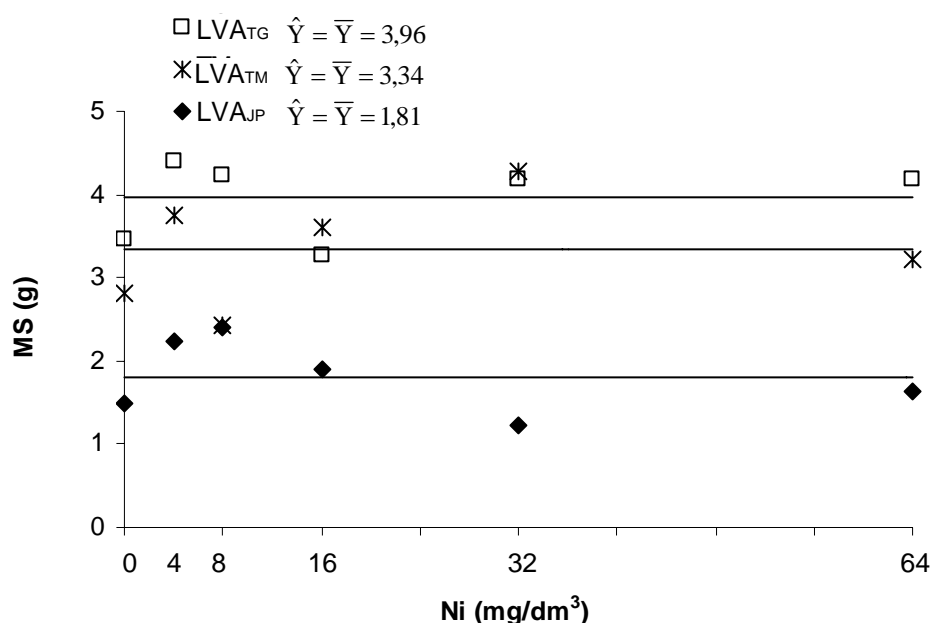


Figura 10 – Equações de regressão para produção de matéria seca (MS) da parte aérea de plantas de alface submetidas a doses crescentes de Ni aplicadas em três solos (LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>)

Comparou-se, por meio de contrastes, a produção média de matéria seca entre os solos (Figura 11). A produção de MS no LVA<sub>TG</sub> foi superior ao LVA<sub>TM</sub> que foi superior ao LVA<sub>JP</sub>, mostrando que os maiores teores dos metais encontrados nas folhas das plantas de alface cultivadas no LVA<sub>JP</sub> afetaram

negativamente o crescimento e desenvolvimento das plantas quando comparado com os solos LVA<sub>TG</sub> e LVA<sub>TM</sub>. As maiores diferenças na produção de MS foram observadas quando comparou-se a produção média de matéria seca das plantas cultivadas no LVA<sub>TG</sub> em relação ao solo LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>. Em média, a produção de MS da parte aérea das plantas de alface foi, aproximadamente, 2,8 g superior no LVA<sub>TG</sub> em relação à produção de MS nos solos LVA<sub>TM</sub> + LVA<sub>JP</sub>.

As maiores produções de matéria seca, no LVA<sub>TG</sub>, coincidem com a presença dos menores teores dos metais na parte aérea das plantas de alface. Esses resultados, provavelmente, foram devidos aos maiores teores de argila, e matéria orgânica que reteram os metais com mais intensidade nesse solo. Apesar, do solo LVA<sub>JP</sub> ser intermediário ao LVA<sub>TG</sub> e ao LVA<sub>TM</sub>, em relação a essas características do solo, nele é que foram observadas as menores produções de matéria seca, provavelmente, devido a menor atividade da fração argila deste solo indicada pelo valor do P-rem.

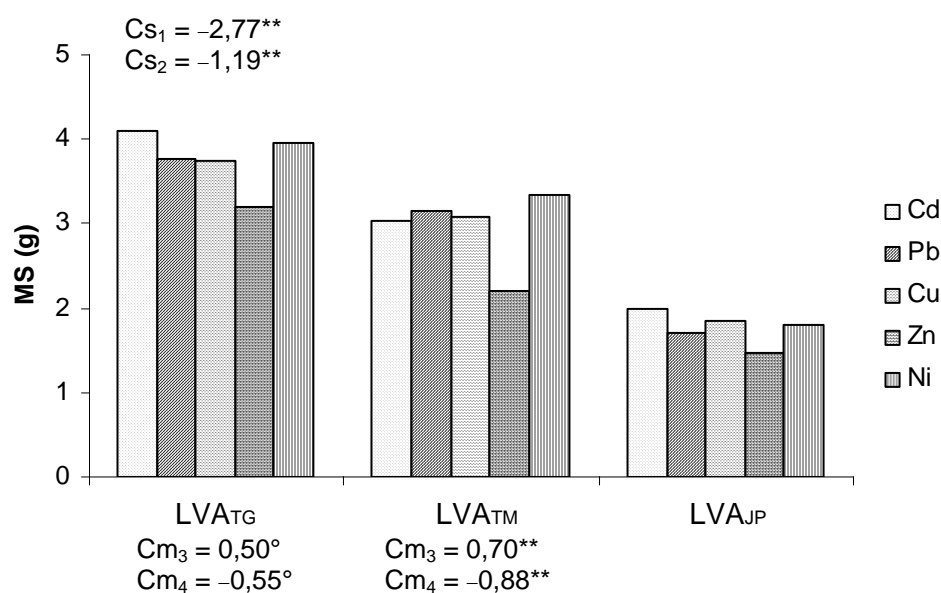


Figura 11 – Comparação da produção média de matéria seca da parte aérea de plantas de alface entre os solos (CS<sub>1</sub>: efeito de LVA<sub>TG</sub> frente a LVA<sub>TM</sub> + LVA<sub>JP</sub>; CS<sub>2</sub>: efeito de LVA<sub>TM</sub> frente a LVA<sub>JP</sub>) e entre os metais Cd, Pb, Cu, Zn e Ni (Cm<sub>3</sub>: efeito de Cu + Zn frente a Ni; Cm<sub>4</sub>: efeito de Cu frente a Zn).  
°, \*\* Significativo a 10 e 1 % de probabilidade, respectivamente.

Comparou-se, também, a produção média de matéria seca (MS) em resposta aos metais para cada solo (Figura 11) e verificou-se diferença significativa na produção de MS da parte aérea das plantas de alface cultivadas

em vasos com aplicação de doses crescentes de Cu e Zn em relação aos vasos que receberam doses crescentes de Ni. A produção média foi superior, no tratamento com Ni, em 0,50 e 0,70 g para os latossolos LVA<sub>TG</sub> e LVA<sub>TM</sub>, respectivamente. Este resultado mostra que as plantas de alface cresceram mais nos tratamentos com Ni do que nos tratamentos com Cu e Zn. Mas, este resultado foi influenciado pela redução na produção de matéria seca no tratamento com doses crescentes de Zn que afetaram o crescimento das plantas.

Devido à essa toxicidade, a comparação da produção média de MS da parte aérea das plantas de alface entre os tratamentos com os metais Cu e Zn, mostrou que a produção média foi superior, no tratamento com Cu, em 0,55 g para o LVA<sub>TG</sub> e 0,88 g para o solo LVA<sub>TM</sub>. Para o solo LVA<sub>JP</sub>, não verificou-se diferença significativa na produção de matéria seca das plantas de alface em resposta aos metais estudados. Apesar da redução na produção de MS observada para o tratamento com Zn em função das doses adicionadas, em média, esta produção de MS ficou próxima à observada para os metais Cd, Pb, Cu e Ni.

### **4.3. Teores de cádmio, chumbo, cobre, zinco e níquel nas raízes, caules, folhas e grãos de plantas de feijão**

#### **4.3.1. Cádmio**

Ocorreu um aumento dos teores de Cd, em todas as partes das plantas de feijão avaliadas, com o aumento das doses de Cd aplicadas nos três solos. Nas raízes (Figura 12) os teores encontrados no LVA<sub>TM</sub> foram maiores que os encontrados no LVA<sub>JP</sub>, sendo os menores teores encontrados no LVA<sub>TG</sub>. No caule (Figura 13), nas folhas (Figura 14) e nos grãos (Figura 15) houve uma inversão com os teores encontrados no solo LVA<sub>JP</sub> superando os encontrados no LVA<sub>TM</sub>, permanecendo os menores teores no LVA<sub>TG</sub>.

Nas raízes observou-se resposta linear para o LVA<sub>TM</sub> (Figura 12), sendo que o teor estimado para maior dose aplicada ao solo foi de 772,08 mg/kg de Cd. Para o LVA<sub>JP</sub> observou-se uma resposta quadrática, onde o teor máximo de Cd estimado nas raízes, 453,88 mg/kg, correspondeu à dose estimada de 13,69 mg/dm<sup>3</sup> de Cd no solo. No LVA<sub>TG</sub> o modelo ajustado não apresentou ponto de máximo (Figura 12), então estimou-se o teor de Cd nas

raízes para a maior dose aplicada ao solo ( $16 \text{ mg/dm}^3$ ), o que gerou o teor  $313 \text{ mg/kg}$  de Cd.

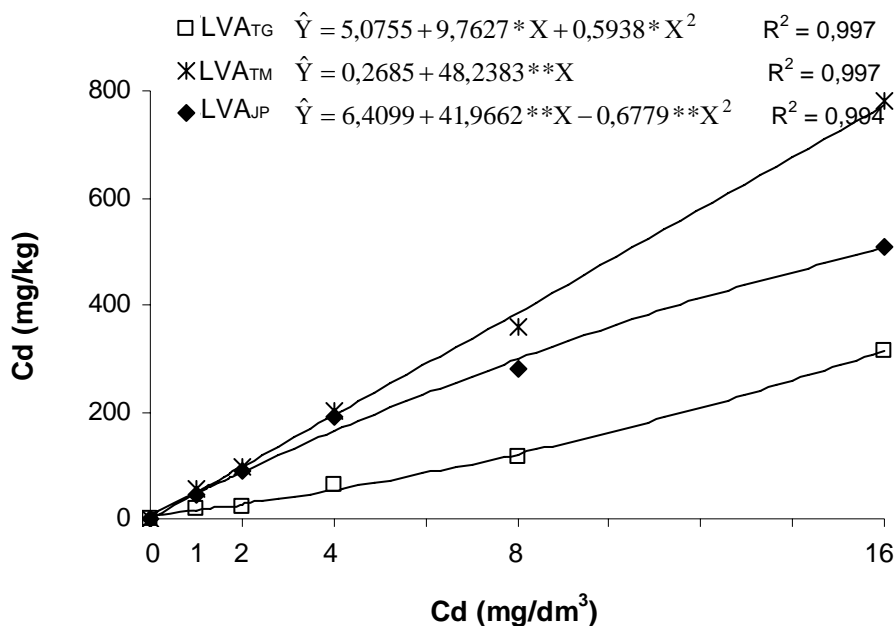


Figura 12 – Equações de regressão entre doses de Cd aplicadas em três solos (LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>) e teores de Cd nas raízes de plantas de feijão.

Para os teores de Cd no caule observou-se resposta linear ao incremento de Cd no solo, para os três solos (Figura 13), obtendo-se os teores estimados de  $271,75$ ;  $228,12$  e  $82,31 \text{ mg/kg}$  para LVA<sub>JP</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>TG</sub>, respectivamente, para a maior dose de Cd aplicada ( $16 \text{ mg/dm}^3$ ).

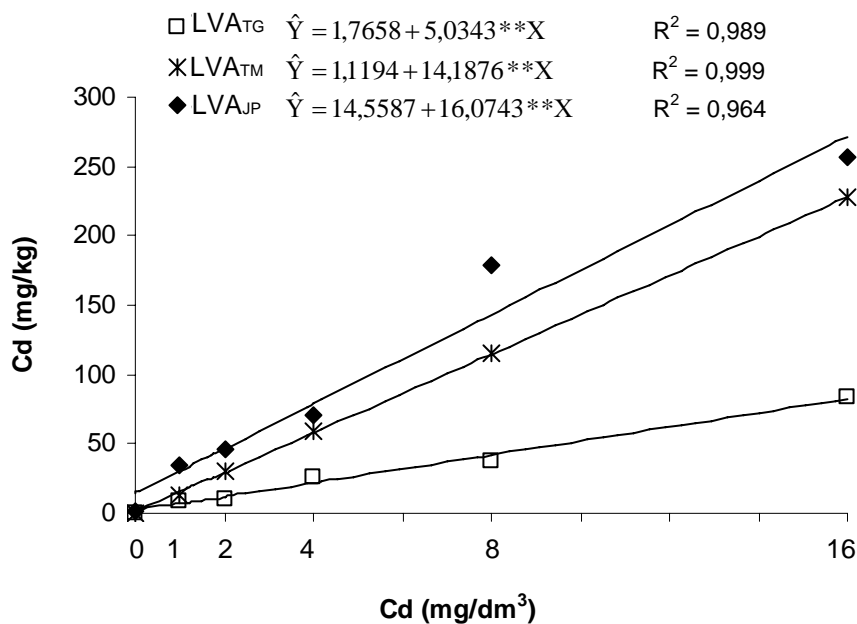


Figura 13 – Equações de regressão entre doses de Cd aplicadas em três solos (LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>) e teores de Cd no caule de plantas de feijão.

Para os teores de Cd nas folhas (Figura 14) ajustaram-se modelos quadráticos sendo que, como observado para os teores nas raízes e nos caules, os teores de Cd encontrados nas folhas das plantas cultivadas no LVA<sub>TG</sub> foram bem inferiores aos teores encontrados nas folhas das plantas cultivadas nos solos LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>. O teor máximo de Cd estimado nas folhas de feijão no LVA<sub>TG</sub> foi de 3,48 mg/kg de Cd, enquanto que nos solos LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>, estes teores ficaram em 10,24 e 11,38 mg/kg, respectivamente.

Os teores de Cd encontrados nas folhas das plantas cultivadas nos latossolos LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub> encontram-se dentro da faixa considerada fitotóxica (5 a 30 mg/kg de Cd) segundo Kabata-Pendias e Pendias (2001). Os teores de Cd encontrados nas plantas cultivadas no LVA<sub>TG</sub> ficaram abaixo desses valores, provavelmente, devido ao maior teor de matéria orgânica e argila neste solo, complexando e adsorvendo o metal, reduzindo sua disponibilidade para as plantas.

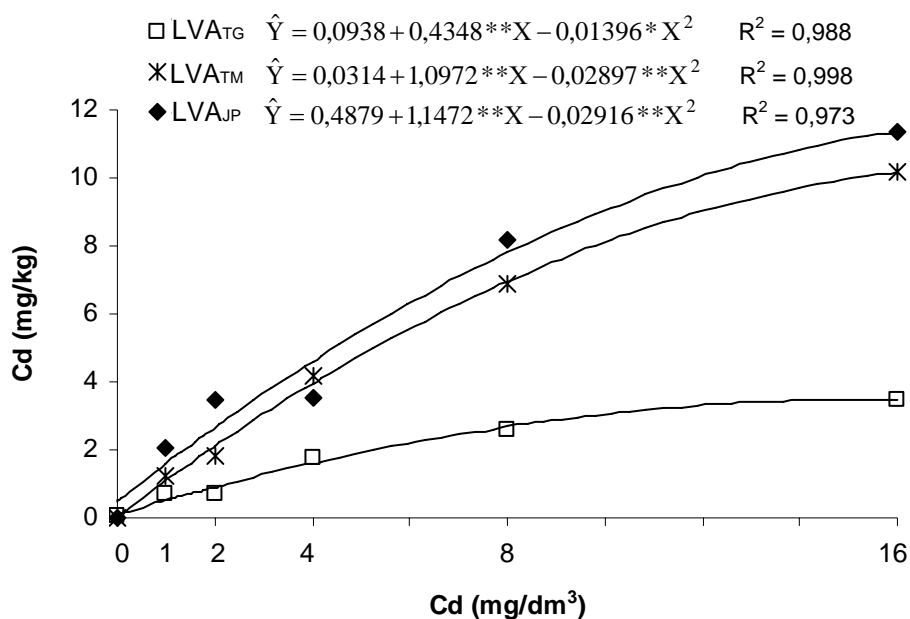


Figura 14 – Equações de regressão entre doses de Cd aplicadas em três solos (LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>) e teores de Cd nas folhas de plantas de feijão.

Page et al. (1972), após 3 semanas de cultivo em solução nutritiva, com teores de Cd de 0; 0,25; 0,50 e 1,0 µg/mL, encontraram nas folhas das plantas de feijão teores de 0,12; 9; 27; 34 e 35 mg/kg, respectivamente. Guo e Marshner (1995) encontraram 4,81 mg/kg de Cd para concentração na solução

nutritiva de 0,0562  $\mu\text{g/mL}$  e Van Assche et al. (1988) observaram relação linear entre a concentração de Cd nas folhas primárias de plantas de feijão e sua concentração externa em substrato de vermiculita contendo até 80  $\mu\text{g/mL}$  de Cd. Para esta concentração o teor de Cd encontrado nas folhas foi em torno de 19 mg/kg.

Segundo Guo e Marschner (1995) o Cd pode ser fortemente retido durante o transporte em longa distância, das raízes para a parte aérea nas plantas de feijão. Ainda segundo estes autores, o Cd nos vasos do xilema pode estar sendo transportado em diferentes formas, dependendo das espécies de plantas. Estes autores trabalhando com milho e feijão verificaram que a concentração de Cd nas frações representando Cd-fitoquelatinas foi muito maior nas raízes de milho quando comparadas com feijão.

Segundo Weigel e Jager (1980), em feijão (*Phaseolus vulgaris*) a acumulação de Cd nas raízes foi devida principalmente ao sequestro intracelular, pelos componentes que complexam o Cd no citoplasma e/ou pela compartimentação nos vacúolos (VASQUES et al., 1992).

Os teores de Cd estimados nos grãos de feijão (Figura 15) para a maior dose aplicada ao solo foram de 10,60; 9,03 e 13,82 mg/kg de Cd para os solos LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>, respectivamente. Os teores encontrados estão bem acima dos teores máximos permitidos em alimentos que é de 1 mg/kg (ABIA, 1985). Hervas Arteaga (1996), trabalhando com lodo de esgoto e aplicando doses crescentes de Cd na forma de cloreto, verificou que nas condições do experimento e nas doses de Cd testadas, as concentrações de Cd nos grãos de trigo, não representavam riscos à saúde humana pelo fato de conter nos grãos concentração menor que 1 mg/kg. Nesse trabalho, a maior dose de Cd aplicada foi de 4,5 mg/dm<sup>3</sup>, ou seja, bem inferior à maior dose utilizada no presente experimento (16 mg/dm<sup>3</sup>) e além disso, havia a presença do lodo de esgoto, com alto teor de matéria orgânica, reduzindo a disponibilidade do metal para as plantas de trigo.

Nos grãos, a grande diferença existente entre os teores de Cd observados nas outras partes das plantas crescidas no LVA<sub>TG</sub> em comparação aos outros solos, não se repetiu (Figura 15). É importante ressaltar que a determinação desses teores no caule e folhas foi feita na matéria seca de plantas colhidas na época de crescimento vegetativo máximo (50 dias de cultivo). Nos grãos, os

teores foram determinados na matéria seca de vagens colhidas na fase final de desenvolvimento das plantas, quando a maioria das folhas estava senescente (com 100 dias de cultivo) e os grãos constituíam dreno preferencial na parte aérea das plantas.

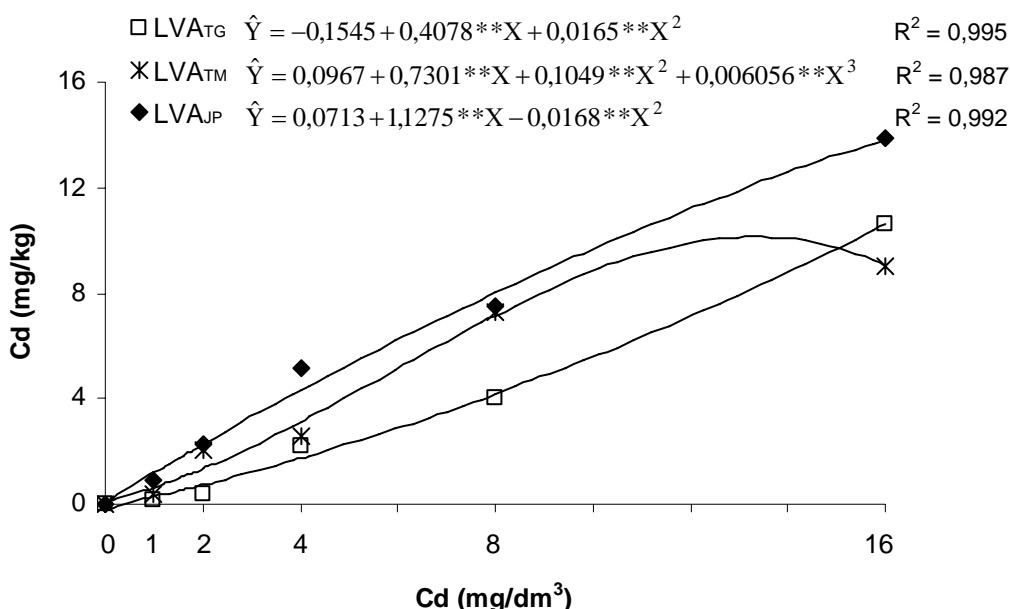


Figura 15 – Equações de regressão entre doses de Cd aplicadas em três solos (LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>) e teores de Cd nos grãos de plantas de feijão.

#### 4.3.2. Chumbo

Foram observados aumentos dos teores de Pb nas raízes (Figura 16), caules (Figura 17) e folhas (Figura 18) mas não nos grãos, em resposta ao aumento das doses de Pb no solo (Figura 19).

Com relação aos teores de Pb encontrados nas raízes, para os três latossolos houve ajustes seguindo os modelos quadráticos (Figura 16). No LVA<sub>TG</sub>, os teores de Pb encontrados nas raízes, para cada dose aplicada ao solo, ficaram abaixo dos teores de Pb encontrados nas raízes das plantas cultivadas nos solos LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub> (Figura 16).

O valor calculado, do teor máximo estimado de Pb nas raízes das plantas cultivadas no LVA<sub>TG</sub>, foi de 2184,74 mg/kg para valor estimado da dose aplicada igual a 331,60 mg/kg.

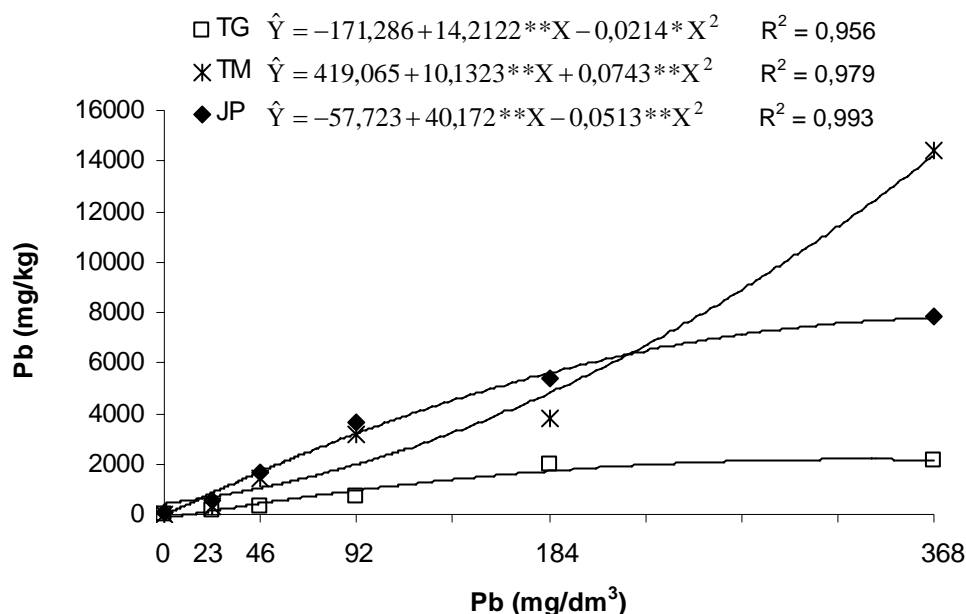


Figura 16 – Equações de regressão entre doses de Pb aplicadas em três solos (LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>) e teores de Pb nas raízes de plantas de feijão.

No LVA<sub>TM</sub>, o modelo ajustado não permitiu estimar o teor máximo de Pb nas raízes. Para a dose máxima de Pb aplicada ao solo o teor calculado de Pb foi 14215,69 mg/kg. Já para o LVA<sub>JP</sub>, o teor máximo de Pb calculado para as raízes foi correspondente à dose de Pb estimada em 391,73 mg/dm<sup>3</sup> que estava fora do intervalo de doses utilizadas (Figura 16). Assim, considerou-se como teor máximo de Pb nas raízes o valor estimado igual a 7003,60 mg/kg, correspondente à dose máxima de Pb aplicada ao solo (368 mg/dm<sup>3</sup>).

Para os solos LVA<sub>TG</sub> e LVA<sub>JP</sub> (Figura 17), ajustaram-se modelos quadráticos entre os teores de Pb nos caules das plantas de feijão e as doses de Pb aplicadas aos latossolos. Para o LVA<sub>TM</sub>, ajustou-se o modelo cúbico. Mas, dentro do espaço experimental o seu comportamento foi semelhante ao do modelo quadrático ajustado para os teores de Pb determinados nas raízes para este solo. Neste caso, até 67,65 mg/kg de Pb os teores nos caules das plantas cultivadas neste solo, apresentaram acréscimos bem pequenos comparados com a variação das doses de Pb aplicadas, mas, a partir desta dose, o teor de Pb aumenta exponencialmente alcançando 299,57 mg/kg de Pb nos caules para maior dose de Pb aplicada.

Para o LVA<sub>TG</sub>, na dose estimada de 348,32 mg/dm<sup>3</sup> de Pb, o teor máximo de Pb nos caules foi de 108,40 mg/kg. Para o solo LVA<sub>JP</sub>, na dose

estimada de 307,76 mg/dm<sup>3</sup> de Pb, esse valor foi de 154,83 mg/kg. Como já observado para as raízes o teor máximo estimado para o LVA<sub>TG</sub> foi inferior aos estimados para os solos LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>.

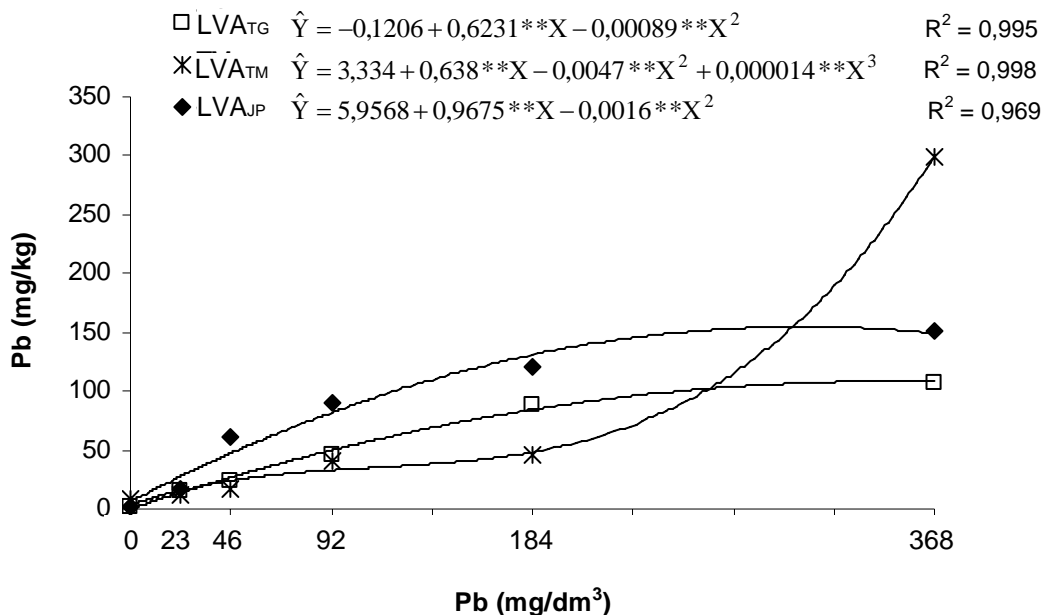


Figura 17 – Equações de regressão entre doses de Pb aplicadas em três solos (LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>) e teores de Pb no caule de plantas de feijão.

Com relação aos teores de Pb nas folhas (Figura 18), ajustaram-se os modelos quadrático e cúbico para os solos LVA<sub>JP</sub> e LVA<sub>TM</sub>, respectivamente. Para o LVA<sub>TG</sub>, ajustou-se modelo cúbico e, na dose estimada de 273,45 mg/dm<sup>3</sup> de Pb aplicado ao solo, o teor máximo de Pb estimado nas folhas ficou em 15,28 mg/kg de Pb. A partir deste ponto ocorreu um decréscimo e na maior dose de Pb aplicada ao solo o teor de Pb determinado nas folhas foi de 8,22 mg/kg. Para o LVA<sub>TM</sub>, para a maior dose de Pb aplicada ao solo (368 mg/dm<sup>3</sup>) o teor de Pb determinado nas folhas foi de 14,29 mg/kg. Para o LVA<sub>JP</sub>, na dose estimada de 279,71 mg/dm<sup>3</sup> o teor máximo de Pb estimado nas folhas foi de 7,77 mg/kg. Assim como observado por Gomes (1996) para plantas de alface, os maiores teores de Pb encontrados no caule do que nas folhas, segundo o autor, indicam a maior adsorção do metal nos vasos do xilema ou acúmulo nas células do parênquima do xilema, indicando a menor mobilidade deste metal nos vasos do xilema e conseqüentemente a sua maior retenção no caule.

Estes teores nas folhas encontram-se bem abaixo dos teores considerados fitotóxicos na parte aérea das plantas que varia de 30 a 300 mg/kg (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 2001). Hervas Arteaga (1996) encontrou nas folhas de trigo 2,76 mg/kg de Pb para a aplicação em Latossolo Roxo de 300 mg/dm<sup>3</sup> de Pb. Este autor avaliou também os teores nos grãos, mas, ficaram abaixo da faixa de detecção do aparelho de absorção atômica utilizado.

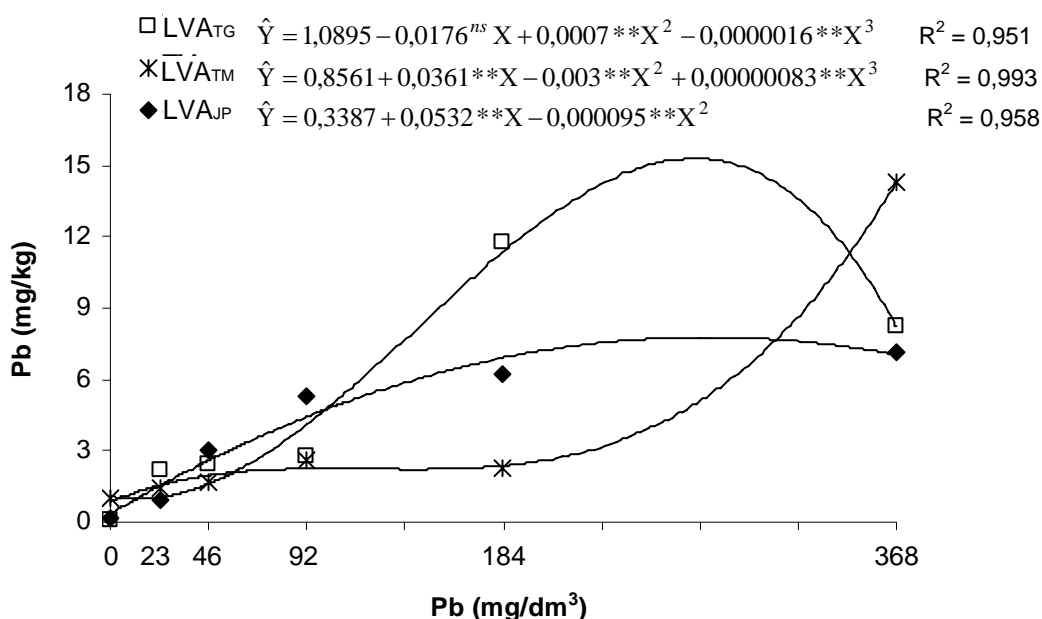


Figura 18 – Equações de regressão entre doses de Pb aplicadas em três solos (LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>) e teores de Pb nas folhas de plantas de feijão.

Para os teores de Pb nos grãos de feijão, não ocorreu ajuste de equações de regressão para os três latossolos. O teor médio de Pb ficou em 465,76; 352,95 e 24,14 mg/kg para os latossolos LVA<sub>TM</sub>, LVA<sub>JP</sub> e LVA<sub>TG</sub>, respectivamente (Figura 19). Os teores encontrados estão bem acima dos permitidos em alimentos de modo geral, que segundo a ABIA (1985) é de 8 mg/kg de Pb e portarias mais recentes, são ainda mais restritivas estabelecendo que em cereais, hortaliças e frutas o limite máximo de tolerância é de 0,50 mg/kg. É importante ressaltar que este resultado é um indício da possível contaminação dos grãos de plantas de feijão caso ocorra o cultivo em solos contaminados, mas, inúmeros fatores relacionados com o solo e a planta, podem alterar e afetar este resultado em condições de campo.

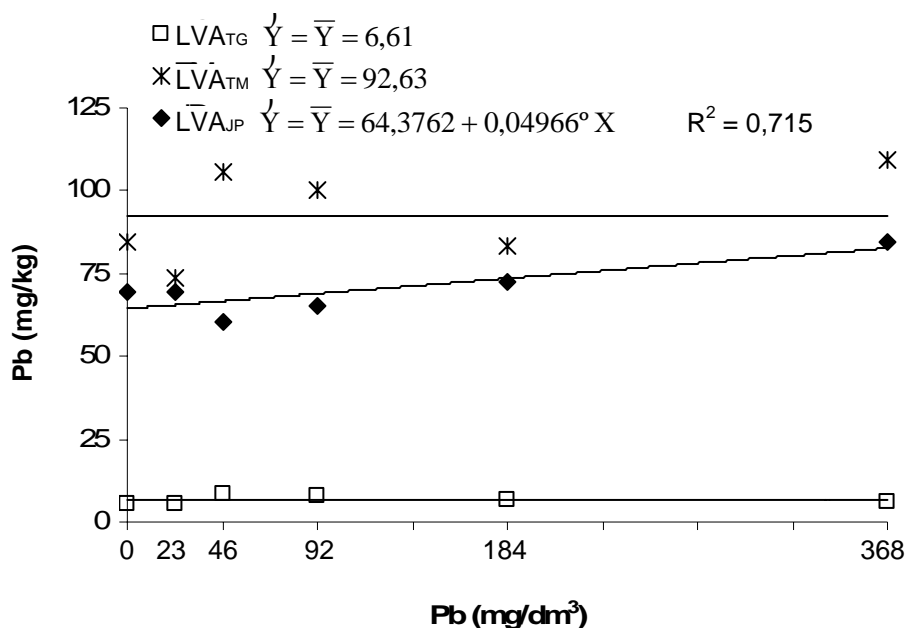


Figura 19 – Equações de regressão entre doses de Pb aplicadas em três solos (LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>) e teores de Pb nos grãos de plantas de feijão.

Ao contrário do observado no presente trabalho, Kabata-Pendias e Pendias (2001) afirmam que foram notados aumentos nos teores de Pb tanto nos grãos como na palha de cevada cultivada em solo poluído com Pb, apesar do alto pH do solo (7,2 a 7,8) e do aumento na concentração de carbonatos. Segundo os autores, isto indica que as características do solo nem sempre inibem a absorção de Pb pelas plantas. Aparentemente, este fenômeno está relacionado com distúrbios funcionais da membrana celular, afetada pelo estresse químico nas plantas (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 2001).

#### 4.3.3. Cobre

Com o aumento das doses de Cu aplicadas aos latossolos, observou-se aumento dos teores de Cu nas raízes, caules, folhas e grãos das plantas de feijão (Figuras 20, 21, 22 e 23).

Os teores de Cu nas raízes, estimados pelas equações lineares ajustadas, praticamente não diferiram entre os latossolos LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>, sendo que na maior dose de Cu aplicada, os teores estimados ficaram em 360,31 e 343,86 mg/kg para estes solos, respectivamente. Os teores de Cu estimados para o LVA<sub>TG</sub> foram inferiores aos dos outros latossolos, ficando em

124,99 mg/kg para maior dose de Cu aplicada (Figura 20). Hervas Arteaga (1996), também observou aumento nos teores de Cu nas raízes de trigo, cultivadas por 101 dias em Latossolo Roxo, com o aumento das doses de Cu aplicadas e para dose de 150 mg/dm<sup>3</sup> foi determinado nas raízes de trigo 194,34 mg/kg de Cu.

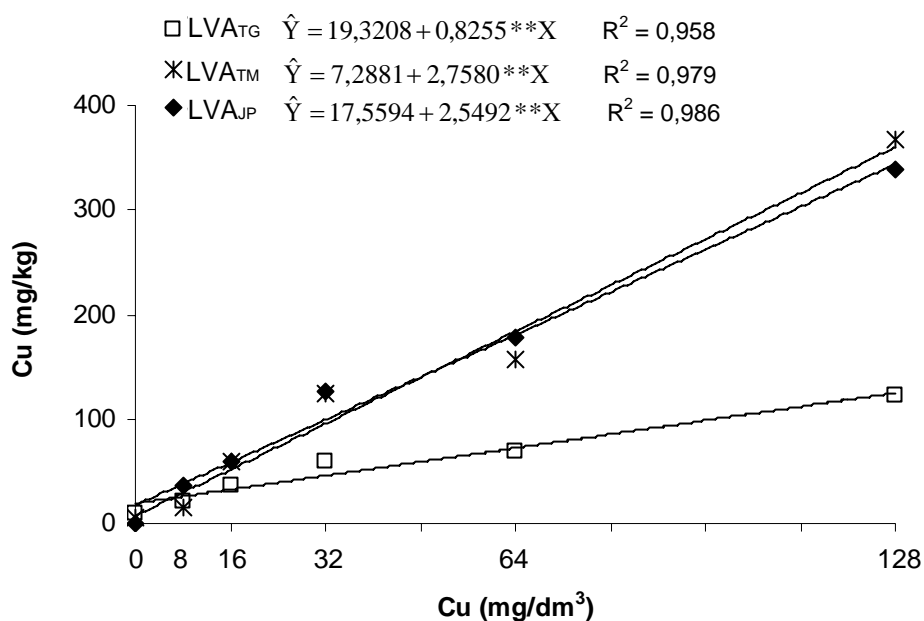


Figura 20 – Equações de regressão entre doses de Cu aplicadas em três solos (LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>) e teores de Cu nas raízes de plantas de feijão.

Na Figura 21, observa-se que não houve ajuste de equação de regressão para os teores de Cu nos caules das plantas cultivadas no LVA<sub>TG</sub>, ficando o teor médio em torno de 1,64 mg/kg. Este valor é bem inferior aos encontrados nos caules das plantas cultivadas nos solos LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>, cujos teores de Cu estimados para maior dose de Cu aplicada aos solos foram 6,64 e 4,87 mg/kg, respectivamente.

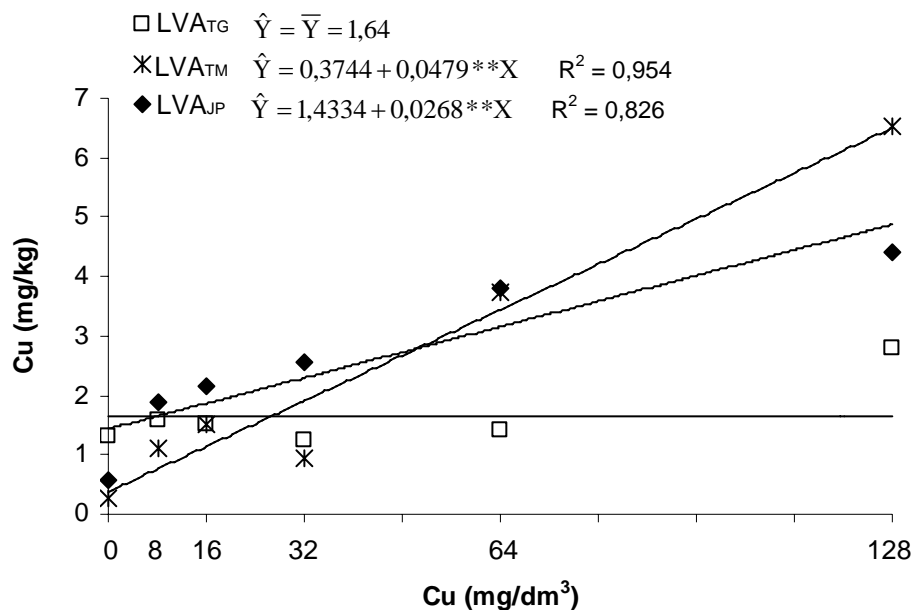


Figura 21 – Equações de regressão entre doses de Cu aplicadas em três solos (LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>) e teores de Cu no caule de plantas de feijão.

Os teores de Cu estimados nas folhas (Figura 22) no LVA<sub>TG</sub> foram bem inferiores aos solos LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>, assim como foi observado para raízes e caules das plantas cultivadas neste solo. Na maior dose de Cu aplicada aos solos (128 mg/dm<sup>3</sup>) os teores estimados foram 3,78; 10,96 e 12,75 mg/kg de Cu para os solos LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>, respectivamente.

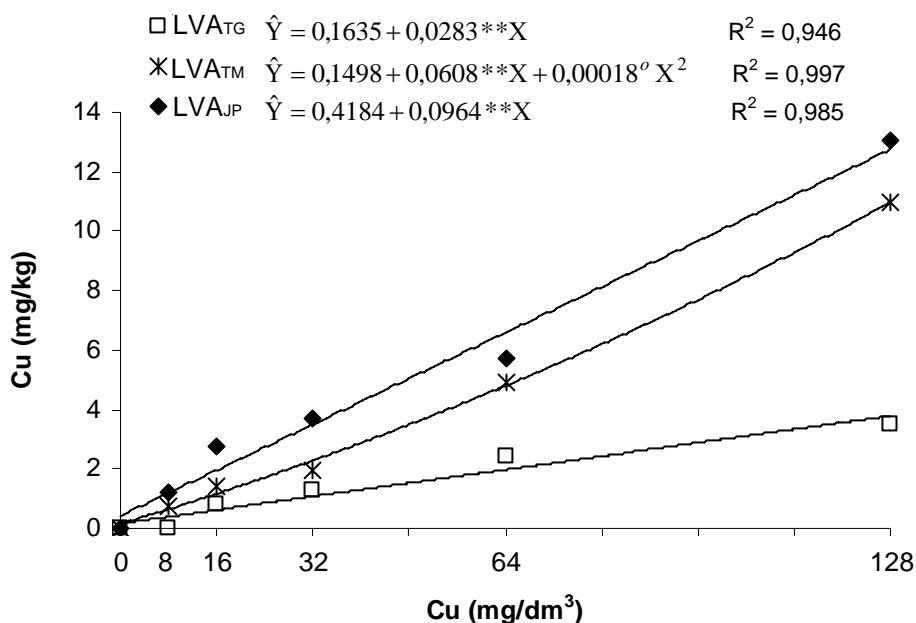


Figura 22 – Equações de regressão entre doses de Cu aplicadas em três solos (LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>) e teores de Cu nas folhas de plantas de feijão.

Nas folhas de plantas de trigo cultivadas em Latossolo Roxo com doses crescentes de Cu, Hervas Arteaga (1996) encontrou para maior dose aplicada ( $150 \text{ mg/dm}^3$ ) teores de  $23,41 \text{ mg/kg}$  de Cu. Os teores encontrados nas folhas do feijoeiro para maior dose aplicada ( $128 \text{ mg/dm}^3$ ), para os solos LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>, encontram-se dentro do limite considerado adequado para esta espécie que é de 10 a  $20 \text{ mg/kg}$  (THUNG e OLIVEIRA, 1998).

Walsh et al. (1972), em experimento de campo verificaram que, com o aumento da aplicação de  $\text{CuSO}_4$  nas doses de 0, 18, 54, 162 e  $486 \text{ kg/ha}$ , observou-se aumento nos teores nas folhas e caule de plantas de feijão. Os teores de Cu determinados, para maior dose aplicada, foram de 40,3 e  $29,7 \text{ mg/kg}$  nas folhas e caule, respectivamente.

Os teores de Cu nas folhas para todas as doses de Cu aplicadas sempre foram superiores aos teores no caule, segundo os autores, indicando a baixa mobilidade do elemento nas plantas. Mesmo resultado foi encontrado no presente experimento, quando os teores de Cu nas folhas foram superiores aos encontrados nos caules. Gomes (1996) também encontrou menor teor de Cu no caule de plantas de alface, comparativamente às folhas, indicando a alta mobilidade do elemento nos vasos do xilema.

Com relação aos teores de Cu estimados nos grãos (Figura 23), nos solos LVA<sub>TG</sub> e LVA<sub>TM</sub>, o modelo ajustado foi quadrático. Para o LVA<sub>TG</sub>, o teor máximo de  $8,53 \text{ mg/kg}$  de Cu foi encontrado na dose estimada de  $75,13 \text{ mg/dm}^3$  de Cu. Para o LVA<sub>TM</sub>, na dose estimada de  $91,31 \text{ mg/dm}^3$  de Cu, o teor máximo estimado nos grãos foi de  $15 \text{ mg/kg}$  de Cu.

No LVA<sub>JP</sub>, ajustou-se o modelo raiz quadrada, onde, a partir da dose de  $32 \text{ mg/dm}^3$  ocorreu a formação de um platô, ou seja, mesmo com o aumentos expressivos da concentração do metal no solo, os teores na semente não acompanharam estes acréscimos e na dose estimada de  $79,42 \text{ mg/dm}^3$  de Cu, o teor máximo estimado nas grãos foi de  $11,72 \text{ mg/kg}$  de Cu.

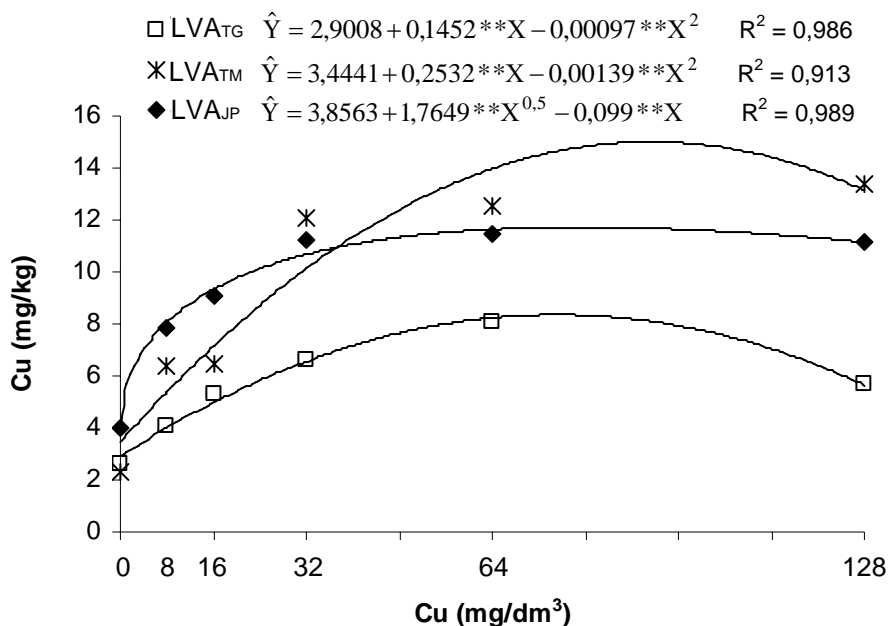


Figura 23 – Equações de regressão entre doses de Cu aplicadas em três solos (LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>) e teores de Cu nos grãos de plantas de feijão.

Walsh et al. (1972) encontraram para feijão cultivado em condições de campo com doses crescentes de CuSO<sub>4</sub>, teores nos grãos em torno de 15 mg/kg. Ao contrário do observado no presente experimento, não foi observado aumento dos teores de Cu nos grãos, com o aumento das doses de Cu aplicadas ao solo.

Em grãos de trigo, Hervas Arteaga (1996) encontrou 13,77 mg/kg de Cu para a dose aplicada de 150 mg/dm<sup>3</sup> de Cu. No trabalho de Hervas Arteaga (1996), e no presente experimento, as concentrações de Cu nos grãos, para condições do Brasil, não atingiram valores que possam ser considerados tóxicos, pelo fato de estarem abaixo do máximo permitido em alimentos fixado em 30 mg/kg (ABIA, 1985).

#### 4.3.4. Zinco

Para Zn, observou-se aumento dos teores do metal de acordo com as doses aplicadas ao solo para todas as partes das plantas avaliadas (Figuras 24, 25, 26 e 27).

Para teores de Zn determinados nas raízes (Figura 24) ajustaram-se modelos quadráticos. Na maior dose de Zn (368 mg/dm<sup>3</sup>) aplicada ao solo o

teor de Zn estimado nas raízes para o LVA<sub>TG</sub> foi de 1674,56 mg/kg e para o LVA<sub>TM</sub> de 3705,33 mg/kg. No LVA<sub>JP</sub>, o teor máximo de Zn estimado nas raízes foi de 2239,75 mg/kg para a dose estimada de 288,98 mg/dm<sup>3</sup> de Zn. Ou seja, os maiores teores foram encontrados no solo de textura arenosa (LVA<sub>TM</sub>), seguido pelos teores encontrados no solo de textura média (LVA<sub>JP</sub>), sendo os menores teores encontrados no solo de textura argilosa (LVA<sub>TG</sub>).

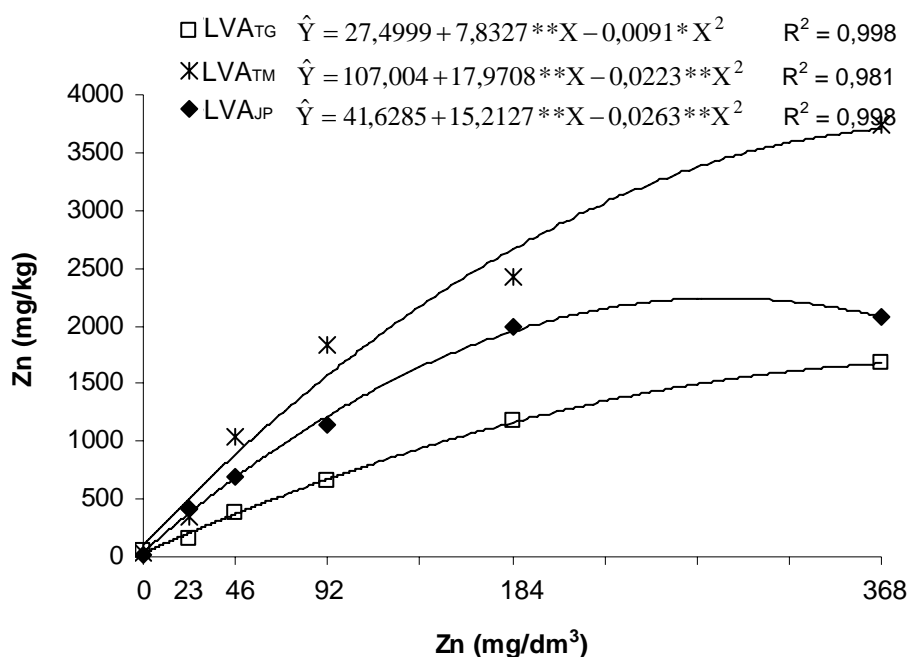


Figura 24 – Equações de regressão entre doses de Zn aplicadas em três solos (LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>) e teores de Zn nas raízes de plantas de feijão.

Para os teores de Zn nos caules das plantas, ajustou-se modelo quadrático para os solos LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub> e linear para o LVA<sub>TG</sub> (Figura 25). Os teores de Zn estimados para a maior dose do metal aplicada aos solos foram de, aproximadamente, 1030, 1271 e 1122 mg/kg de Zn para os solos LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>, respectivamente.

Como observado para os teores de Zn nas raízes das plantas de feijão, os teores no caule em ordem decrescente foram LVA<sub>TM</sub> > LVA<sub>JP</sub> > LVA<sub>TG</sub>.

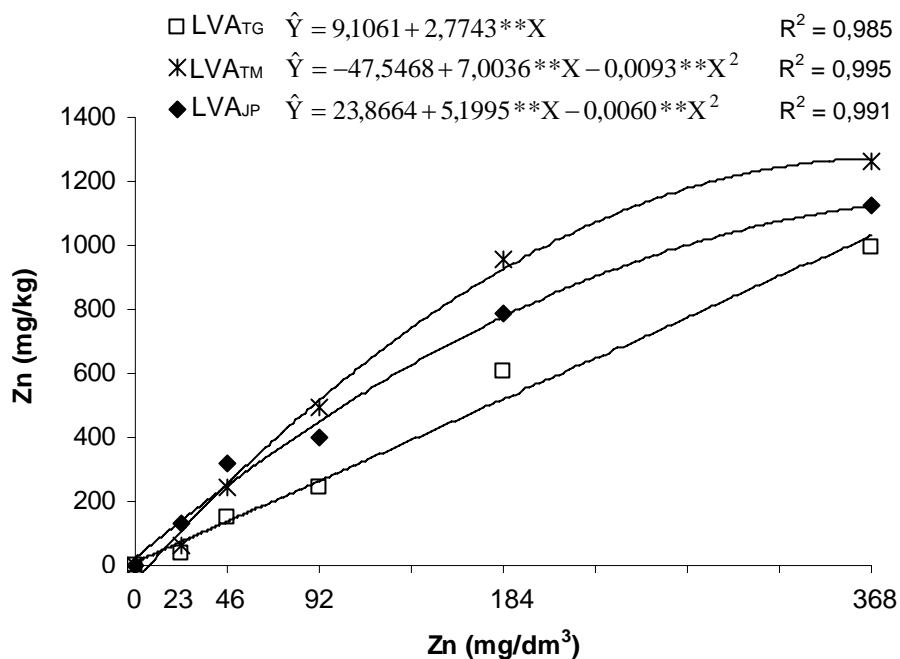


Figura 25 – Equações de regressão entre doses de Zn aplicadas em três solos (LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>) e teores de Zn no caule de plantas de feijão.

Nas folhas observou-se ajuste de equações distintas entre os solos (Figura 26) para os teores de Zn em função das doses de Zn adicionadas aos solos LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>.

Para o solo LVA<sub>TM</sub> ajustou-se modelo cúbico, sendo o teor de Zn estimado, para a maior dose de Zn aplicada ao solo, de 950,29 mg/kg. De acordo com o modelo linear ajustado para o LVA<sub>TG</sub>, este teor foi de 1118,56 mg/kg e para o LVA<sub>JP</sub>, segundo o modelo quadrático ajustado o teor estimado de Zn foi de 753,64 mg/kg, para a maior dose de Zn aplicada ao solo.

White et al. (1979) encontraram, para plantas de soja, relação positiva e linear entre a adição de Zn no solo (1,31; 131 e 262 mg/kg) e absorção pelas plantas (teores nas raízes) e translocação (teores nas folhas) em ambos níveis de pH testados (5,5 e 6,5). Estes autores verificaram que os teores de Zn encontrados nas raízes, folhas primárias e trifoliadas, no pH 6,5, para maior dose de Zn aplicada foram de 1274, 1137 e 614 mg/kg, respectivamente. Assim como observado no presente trabalho para os teores de Zn nas folhas do feijoeiro, os teores encontrados nas folhas de soja estão acima dos considerados fitotóxicos para as plantas que segundo Kabata-Pendias e Pendias (2001) variam de 30 a 300 mg/kg.

Diferentemente do observado para os teores de Zn nas raízes e caules, principalmente até a dose aplicada de 184 mg/dm<sup>3</sup>, praticamente não existe diferença entre os teores de Zn nas folhas das plantas cultivadas nos solos LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>.

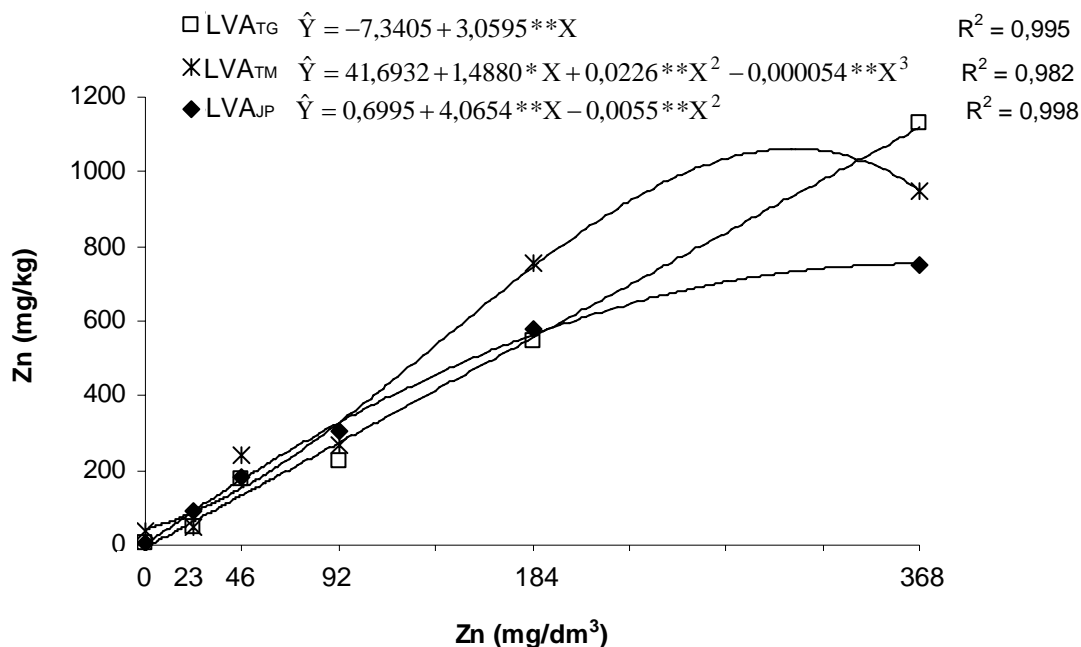


Figura 26 – Equações de regressão entre doses de Zn aplicadas em três solos (LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>) e teores de Zn nas folhas de plantas de feijão.

Para os teores de Zn nos grãos de feijão, também ajustaram-se modelos distintos entre os solos (Figura 27). No LVA<sub>TG</sub>, ajustou-se o modelo raiz quadrada; para o LVA<sub>TM</sub>, o modelo quadrático e no LVA<sub>JP</sub>, o modelo cúbico base raiz quadrada.

O teor máximo de Zn estimado nos grãos das plantas cultivadas no LVA<sub>TM</sub> foi de 99,07 mg/kg de Zn para a dose estimada de 275,62 mg/dm<sup>3</sup> de Zn. Para o LVA<sub>TG</sub> o teor de Zn estimado para a dose máxima aplicada foi de 97,74 mg/kg e para o LVA<sub>JP</sub> este teor foi de 97,71 mg/kg de Zn. Os teores de Zn determinados nos grãos para a maioria das doses testadas encontram-se acima dos teores máximos permitidos em alimentos que é de 50 mg/kg (ABIA, 1985).

Assim como observado para as folhas, praticamente não ocorreu diferença entre os teores de Zn nos grãos das plantas de feijão cultivadas nos solos LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>.

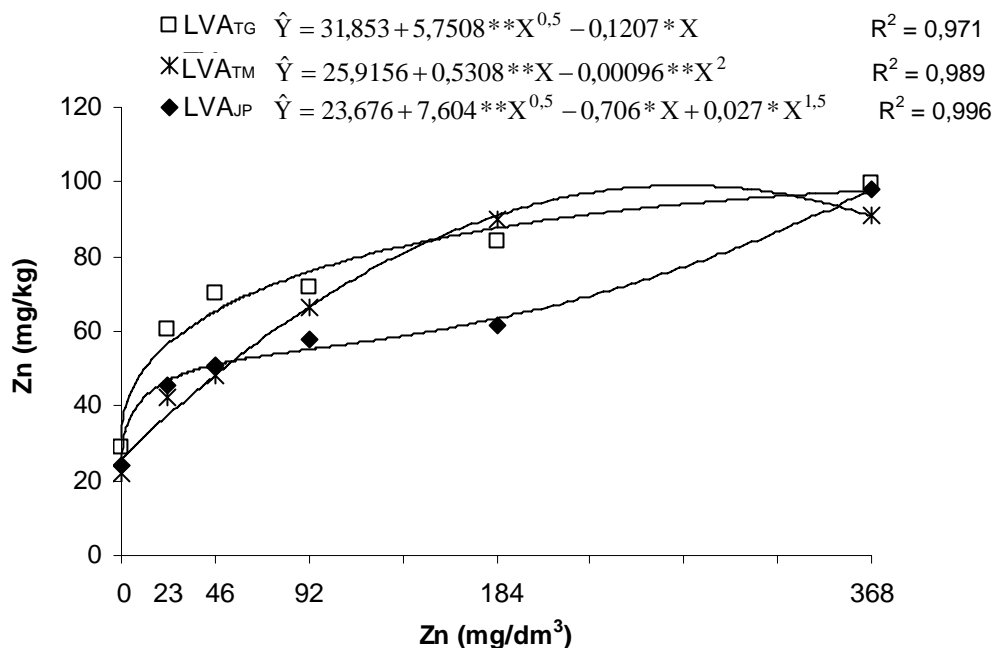


Figura 27 – Equações de regressão entre doses de Zn aplicadas em três solos (LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>) e teores de Zn nos grãos de plantas de feijão.

Assim como encontrado no presente trabalho, Ruano et al. (1988) verificaram que plantas de feijão tratadas com excesso de Zn, apresentaram aumento significativo da concentração de Zn em todas as partes das plantas avaliadas independente do tempo de contato com o elemento na solução nutritiva. As concentrações de Zn avaliadas foram 0,1308; 0,4316; 0,6278 e 0,8829  $\mu\text{g/mL}$  e os teores encontrados nas raízes, caule e folhas de feijão, após 20 dias de contato e na maior dose de Zn aplicada foram 588, 347 e 166 mg/kg, respectivamente. Teores bem abaixo dos encontrados no presente experimento, mas, essa diferença, provavelmente, foi devida ao pouco tempo de duração do experimento e as doses aplicadas. Mas, a mesma tendência de distribuição do metal foi encontrada, ou seja, os teores encontrados nas raízes foram maiores que no caule que por sua vez foram maiores que nas folhas. Indicando a baixa mobilidade do elemento nos vasos do xilema.

#### 4.3.5. Níquel

Para Ni, assim como ocorreu para os outros metais observou-se aumento dos teores determinados na matéria seca das raízes, caule, folhas e

grãos de feijão com o aumento das doses aplicadas aos solos (Figuras 28, 29, 30 e 31).

O teor de Ni estimado nas raízes das plantas (Figura 28) em função do modelo ajustado para a maior dose aplicada ao LVA<sub>TG</sub> foi de 233,66 mg/kg. No LVA<sub>TM</sub>, o valor do teor máximo de Ni estimado ficou fora do espaço experimental, desta forma, considerou-se o teor na maior dose de Ni aplicada ao solo que ficou em 504,06 mg/kg, muito acima do estimado para o LVA<sub>TG</sub>. No LVA<sub>JP</sub>, o teor máximo de Ni estimado foi de 284,70 mg/kg para a dose de Ni estimada de 56,77 mg/dm<sup>3</sup>.

Pode ter ocorrido a contaminação das raízes com o Ni do solo, assim como aconteceu para o Cd, Pb, Cu e Zn, pois, a separação das raízes do solo não foi eficiente na remoção deste.

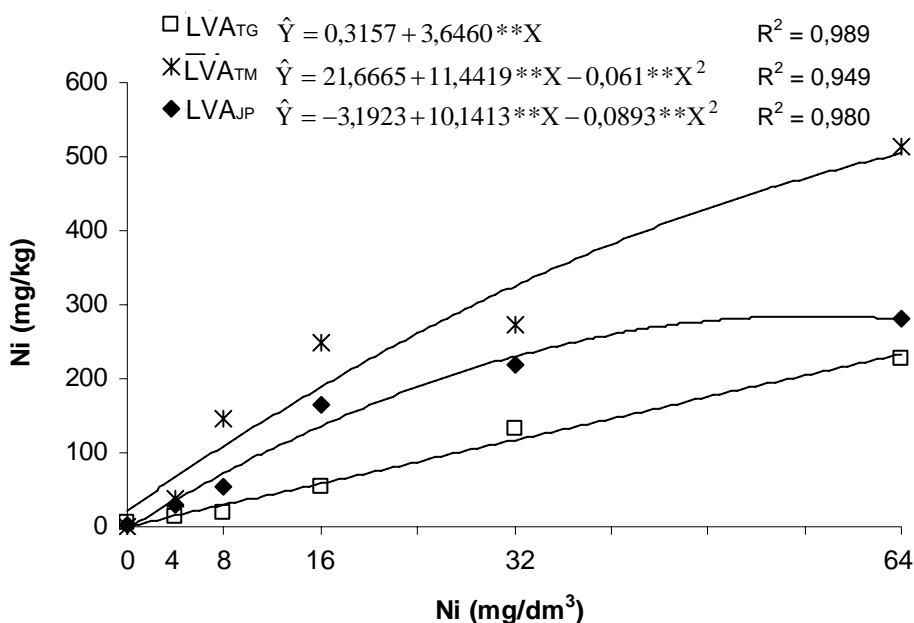


Figura 28 – Equações de regressão entre doses de Ni aplicadas em três solos (LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>) e teores de Ni nas raízes de plantas de feijão.

Nos caules (Figura 29), o teor máximo de Ni estimado no LVA<sub>TG</sub> foi de 27,80 mg/kg para a dose estimada de 56,59 mg/dm<sup>3</sup> de Ni. No LVA<sub>TM</sub> este teor foi de 69,74 mg/kg para a dose de 49,44 mg/dm<sup>3</sup> de Ni. Para o LVA<sub>JP</sub> o valor estimado ficou fora do espaço experimental, neste caso, estimou-se segundo a equação ajustada, o teor de Ni nos caules para maior dose de Ni aplicada ao solo (64 mg/dm<sup>3</sup>) sendo de 50,89 mg/kg.

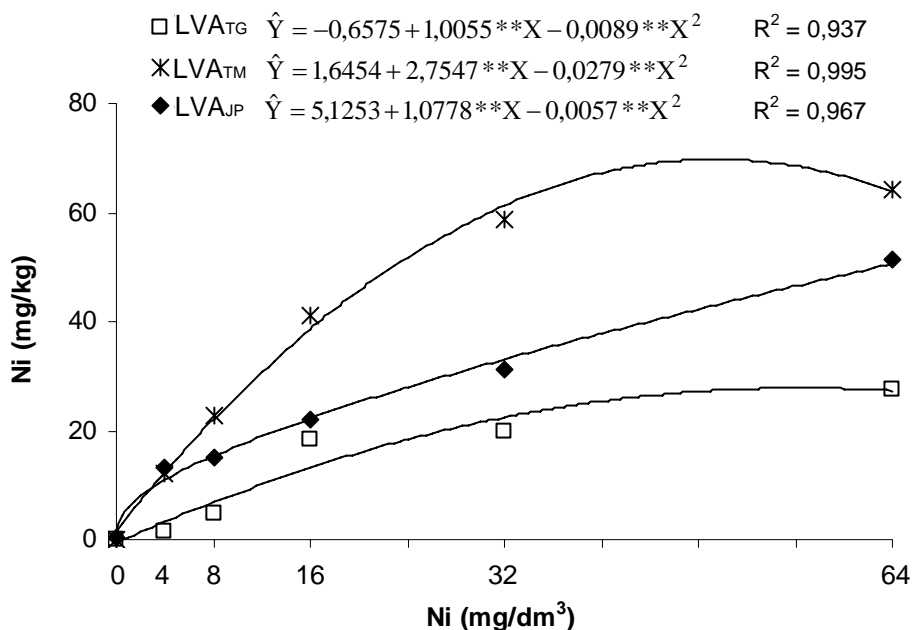


Figura 29 – Equações de regressão entre doses de Ni aplicadas em três solos (LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>) e teores de Ni no caule de plantas de feijão.

Os teores de Ni, na matéria seca das folhas das plantas coletadas 50 dias após a semeadura, para o LVA<sub>TG</sub> ficaram bem inferiores aos teores encontrados nas folhas das plantas cultivadas nos solos LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>. O teor de Ni estimado para maior dose de Ni aplicada aos solos foi de 11,34 mg/kg no LVA<sub>TG</sub>, contra 63,29 mg/kg para o LVA<sub>TM</sub> e de 85,06 mg/kg para o LVA<sub>JP</sub> (Figura 30).

Guo e Marschner (1995) avaliando a absorção e distribuição de níquel em diferentes espécies de plantas em solução nutritiva, encontraram nas folhas, caule, base do caule e raízes de couve crespa (*Brassica oleracea* L.), após 20 dias de exposição a 0,0587 µg/mL de Ni, teores iguais a 9,91; 10,05; 16,80 e 93,61 mg/kg de Ni, respectivamente. Estes autores também mediram as concentrações deste metal na seiva xilemática de diversas espécies e encontraram grande diferença entre estas, sendo que com o aumento da concentração do elemento em solução ocorreu um acréscimo na concentração na seiva, que se correlacionou de forma significativa e positiva com os teores determinados na matéria seca da parte aérea, para todas as espécies estudadas.

Os teores de Ni encontrados, tanto para couve como para o feijão, são considerados fitotóxicos na parte aérea das plantas. Segundo Marshner (1995),

a faixa considerada fitotóxica varia de 10 a 50 mg/kg de Ni, já para Kabata-Pendias e Pendias (2001) esta faixa seria de 10 a 100 mg/kg.

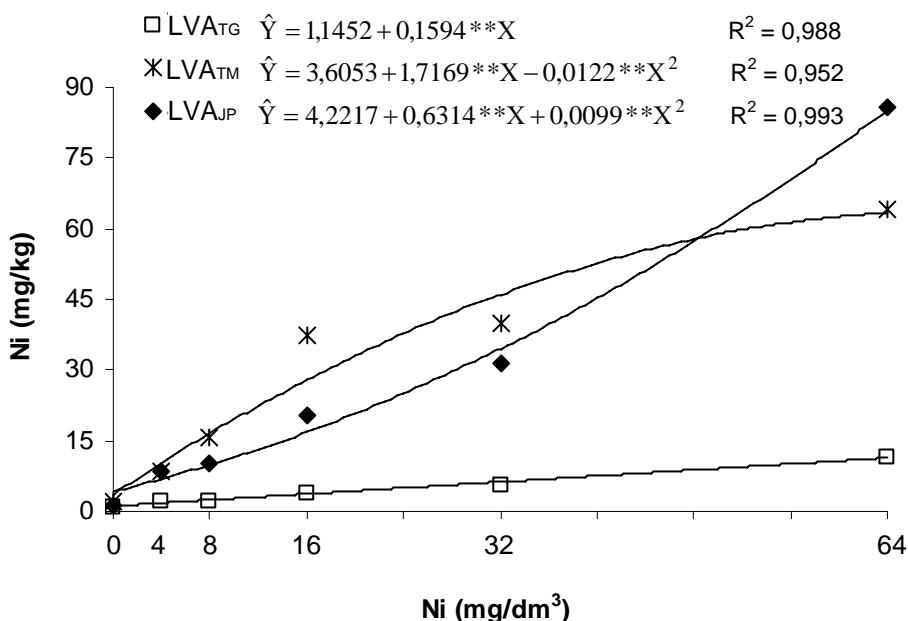


Figura 30 – Equações de regressão entre doses de Ni aplicadas em três solos (LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>) e teores de Ni nas folhas de plantas de feijão.

O modelo ajustado para o teor de Ni nos grãos foi o modelo quadrático para todos os solos (Figura 31). Como foi observado para os teores de Ni nas outras partes da planta avaliadas, os teores de Ni no LVA<sub>TG</sub> foram inferiores aos teores nos solos LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>. O teor máximo de Ni estimado na semente para este latossolo foi de 71,52 mg/kg para a dose de Ni estimada de 52,51 mg/dm<sup>3</sup>. Para o LVA<sub>TM</sub>, na dose de Ni estimada em 59,36 mg/dm<sup>3</sup> o teor Ni estimado nas grãos foi de 134,30 mg/kg e no LVA<sub>JP</sub>, na dose de Ni estimada em 42,07 mg/dm<sup>3</sup> o teor máximo estimado nas grãos ficou em 166,69 mg/kg. Os teores de Ni estimados nas grãos encontram-se bem acima do teor máximo permitido em alimentos que segundo a ABIA (1985) é de 5 mg/kg.

Os teores de Ni nas raízes, caules e folhas das plantas de feijão foram maiores no LVA<sub>JP</sub>, seguido do LVA<sub>TM</sub> e por último do LVA<sub>TG</sub>, mostrando como as características dos solos interferem na disponibilidade deste elemento para as plantas. Neste caso, os menores teores foram observados no LVA<sub>TG</sub> que, além de apresentar textura argilosa, apresenta alto teor de matéria orgânica

que segundo Camargo et al. (1989) conjuntamente com o pH é a característica do solo responsável pela adsorção máxima de Ni.

Este efeito do pH foi verificado por Berton et al. (1998), citados por Abreu et al. (2002), que aplicando doses de 0; 2,3; 10,5; 47 e 210 mg/kg de Ni como NiSO<sub>4</sub>.6H<sub>2</sub>O em solos do estado de São Paulo, verificaram que a calagem foi eficiente para diminuir a concentração desse elemento nos grãos de feijão. Mesma observação foi feita por Hervas Arteaga (1996) para plantas de trigo. Com a calagem, concentrações de Ni, nas diferentes partes das plantas de trigo avaliadas (raiz, parte aérea e grãos) decresceram drasticamente. Nos grãos, os teores passaram de 106,01 mg/kg para as plantas cultivadas no solo sem calagem para 10,67 mg/kg de Ni, para as plantas cultivadas no solo com calagem. No presente trabalho, a calagem não interferiu nos teores encontrados nos grãos de feijão, provavelmente devido ao fato de que esta foi feita para que o pH do solo atingisse o valor de 6,00 e, segundo Ellis e Knezek (1977) citados por Oliveira (2002), em geral, o pH deve exceder a 6,5 a fim de minimizar a mobilidade e toxicidade deste elemento.

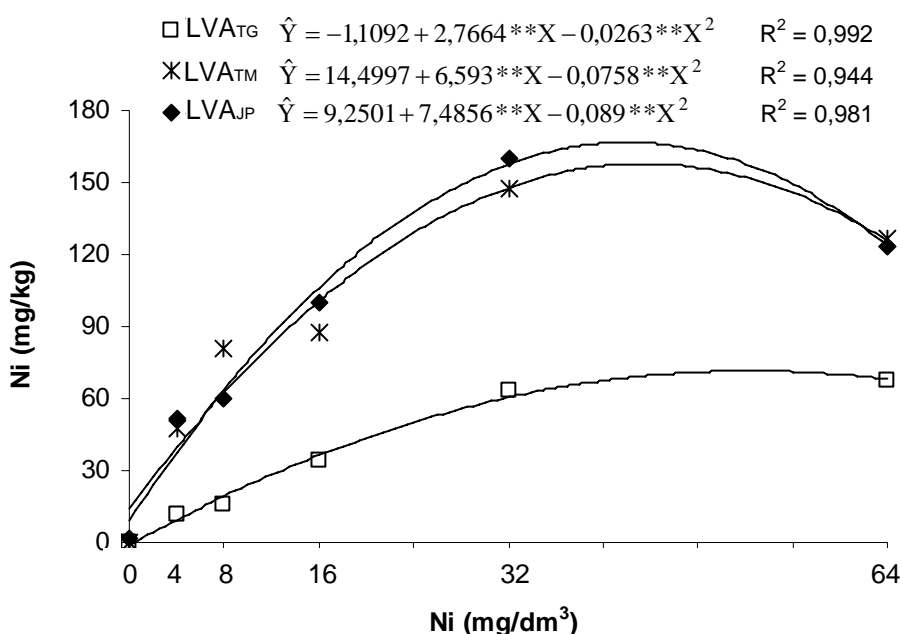


Figura 31 – Equações de regressão entre doses de Ni aplicadas em três solos (LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>) e teores de Ni nos grãos de plantas de feijão.

#### 4.4. Produções de matéria seca de raízes, caules, folhas, vagens; número de vagens e peso médio de vagens de plantas de feijão

As produções de matéria seca de folhas (MSFL) e caules (MSCL) das plantas coletadas 50 dias após a semeadura, e de raízes (MSRA) e vagens (MSVAG), das plantas coletadas aos 100 dias, não evidenciaram variações com as doses de Cd, assim como o número de vagens por planta (NVAG) e o peso médio de vagens (PMVAG) (Tabela 5). A única exceção ocorreu para a matéria seca das raízes das plantas cultivadas no LVA<sub>TM</sub> e para matéria seca de vagens das plantas cultivadas no LVA<sub>JP</sub>, que aumentaram em relação ao controle na dose de 1 mg/dm<sup>3</sup> de Cd aplicada ao solo, seguida de redução nas produções de MSRA e MSCL com o aumento das doses de Cd adicionadas.

Para o Pb, assim como ocorreu para os tratamentos com Cd, não foi observada redução nas produções de matéria seca das partes das plantas de feijão em função do aumento das doses de Pb (Tabela 5). A exceção ocorreu somente para a matéria seca de vagens produzida pelas plantas cultivadas no LVA<sub>JP</sub>, onde observou-se um aumento desta em função das doses de Pb até a dose de 236,11 mg/dm<sup>3</sup> à partir da qual ocorreu decréscimo nesta produção.

Com relação ao Cu, não foi observado efeito das doses de Cu aplicadas aos latossolos na produção de matéria seca do feijoeiro, assim como no NVAG e no PMVAG (Tabela 5).

Walsh et al. (1972), em experimento de campo, verificaram que com o aumento das doses de Cu aplicadas ao solo ocorreu redução na produção das plantas de feijão, quando a concentração nas folhas aumentou de 20 para 30 mg/kg e severa toxicidade foi observada quando a concentração nos tecidos excedeu 40 mg/kg de Cu. No presente trabalho, os teores de Cu na parte aérea das plantas ficaram abaixo dos teores considerados fitotóxicos não afetando do crescimento das plantas.

Mesmo os altos teores de Zn encontrados nas folhas de feijão não causaram redução no crescimento das plantas, apesar de redução na produção de MSRA com o aumento das doses de Zn para os três solos. Alguns mecanismos citados na literatura podem ter contribuído para essa tolerância, como a compartimentação do elemento nos vacúolos e a complexação com ácidos orgânicos, como malato e citrato (Godbold et al., 1984).

White et al. (1979) verificaram que teores de 1274, 1137 e 614 mg/kg de Zn encontrados nas raízes, folhas primárias e trifoliadas de plantas de soja,

respectivamente, levaram a redução no crescimento da parte aérea. Nas raízes não foi observado efeito do metal.

Assim como observado para Pb, a MSVAG foi afetada pela adição de Zn ao LVA<sub>JP</sub>. Ocorrendo um aumento desta até a dose de 228,45 mg/dm<sup>3</sup> à partir da qual ocorreu redução na matéria seca de vagens produzida pelas plantas cultivadas no LVA<sub>JP</sub>.

Para Ni, não foi observado efeito na produção de matéria seca das partes das plantas de feijão avaliadas com o aumento das doses do metal para os três solos (Tabela 7). Com relação ao número de vagens produzidas pelas plantas observou-se um aumento linear destas nos solos LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub> com o aumento das doses de Ni adicionadas aos solos (Tabela 7), como a MSVAG permaneceu constante, conseqüentemente, o peso médio de vagens das plantas de feijão cultivadas nos solos LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub> reduziram de forma significativa com o aumento das doses de Ni (Tabela 7).

Sauerbeck e Hein (1991) verificaram que o feijão, o rabanete e o milho foram as espécies mais sensíveis ao Ni, em dois tipos de solos que receberam diferentes fontes do elemento. Contrariando estes autores, a adição de Ni não influenciou na produção de matéria seca das plantas cultivadas nos solos LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>, mesmo com os altos teores de Ni encontrados na parte aérea das plantas, provavelmente devido a compartimentação no metal no vacúolo (KRÄMER et al., 2000)

Tabela 5 - Equações de regressão e teores médios da produção de matéria seca de raízes (MSRA), caules (MSCL), folhas (MSFL), vagens (MSVAG), número de vagens (NVAG) e peso médio de vagens (PMVAG) de plantas de feijão em função de doses<sup>1</sup> de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni aplicadas em amostras dos solos LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>.

Metal	Variável	Solo	Equação de Regressão	R <sup>2</sup>	
Cd	MSRA	LVA <sub>TG</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,43$	0,961	
		LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = 1,679 + 1,312 * X^{0,5} - 0,999 ** X + 0,1614 ** X^{1,5}$		
		LVA <sub>JP</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,64$		
	MSCL	LVA <sub>TG</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,36$		
		LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,98$		
		LVA <sub>JP</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,86$		
	MSFL	LVA <sub>TG</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,57$		
		LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,12$		
		LVA <sub>JP</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,08$		
	MSVAG	LVA <sub>TG</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 3,17$		0,883
		LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 2,75$		
		LVA <sub>JP</sub>	$\hat{Y} = 1,379 + 3,131 ** X^{0,5} - 1,884 ** X + 0,2724 * X^{1,5}$		
	NVAG	LVA <sub>TG</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 3,14$		
		LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 3,56$		
		LVA <sub>JP</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 3,14$		
	PMVAG	LVA <sub>TG</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,05$		
		LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,79$		
		LVA <sub>JP</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,65$		
Pb	MSRA	LVA <sub>TG</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,61$	0,730	
		LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,77$		
		LVA <sub>JP</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,82$		
	MSCL	LVA <sub>TG</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,32$		
		LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,93$		
		LVA <sub>JP</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,09$		
	MSFL	LVA <sub>TG</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,70$		
		LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,20$		
		LVA <sub>JP</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,48$		
	MSVAG	LVA <sub>TG</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 3,36$		0,730
		LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 2,77$		
		LVA <sub>JP</sub>	$\hat{Y} = 1,572 + 0,017 ** X - 0,000036 * X^2$		
	NVAG	LVA <sub>TG</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 2,94$		
		LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 3,42$		
		LVA <sub>JP</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 3,17$		
	PMVAG	LVA <sub>TG</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,17$		
		LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,80$		
		LVA <sub>JP</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,81$		

<sup>1</sup> Doses dos metais aplicadas nas amostras dos solos Cd = 0, 1, 2, 4, 8 e 16; Pb = 0, 23, 46, 92, 184 e 368; Cu = 0, 8, 16, 32, 64 e 128; Zn = 0, 23, 46, 92, 184 e 368; Ni = 0, 4, 8; 16, 32, 64 mgdm<sup>3</sup>.

\*, \*\* Significativo a 5 e 1% de probabilidade.

Continua...

Continuação Tabela 5

Metal	Variável	Solo	Equação de Regressão	R <sup>2</sup>
Cu	MSRA	LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,47$	
		LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,98$	
		LVA <sub>JP</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,83$	
	MSCL	LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,25$	
		LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,07$	
		LVA <sub>JP</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,94$	
	MSFL	LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,60$	
		LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,12$	
		LVA <sub>JP</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,37$	
	MSVAG	LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 3,02$	
		LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 2,29$	
		LVA <sub>JP</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 3,01$	
	NVAG	LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 3,08$	
		LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 3,06$	
		LVA <sub>JP</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 3,17$	
PMVAG	LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,99$		
	LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,78$		
	LVA <sub>JP</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,94$		
Zn	MSRA	LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = 1/(0,565 + 0,0027^{**}X)$	0,899
		LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = 1/(0,478 + 0,0029^{**}X)$	0,923
		LVA <sub>JP</sub>	$\hat{Y} = 2,001 - 0,0038^{**}X$	0,871
	MSCL	LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,17$	
		LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,89$	
		LVA <sub>JP</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,86$	
	MSFL	LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,48$	
		LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,19$	
		LVA <sub>JP</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,24$	
	MSVAG	LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 3,37$	
		LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 2,26$	
		LVA <sub>JP</sub>	$\hat{Y} = 1,412 + 0,01919^{**}X - 0,000042^{**}X^2$	0,784
	NVAG	LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 3,28$	
		LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 2,89$	
		LVA <sub>JP</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 2,92$	
PMVAG	LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,03$		
	LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,83$		
	LVA <sub>JP</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,91$		

<sup>1</sup> Doses dos metais aplicadas nas amostras dos solos Cd = 0, 1, 2, 4, 8 e 16; Pb = 0, 23, 46, 92, 184 e 368; Cu = 0, 8, 16, 32, 64 e 128; Zn = 0, 23, 46, 92, 184 e 368; Ni = 0, 4, 8, 16, 32, 64 mgdm<sup>3</sup>.

\*, \*\* Significativo a 5 e 1% de probabilidade.

Continua...

Continuação Tabela 5

Metal	Variável	Solo	Equação de Regressão	R <sup>2</sup>
Ni	MSRA	LVA <sub>TG</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,60$	
		LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,88$	
		LVA <sub>JP</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,90$	
	MSCL	LVA <sub>TG</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,29$	
		LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,89$	
		LVA <sub>JP</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,86$	
	MSFL	LVA <sub>TG</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,57$	
		LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,20$	
		LVA <sub>JP</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,22$	
	MSVAG	LVA <sub>TG</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 3,06$	
		LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 2,16$	
		LVA <sub>JP</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 2,23$	
	NVAG	LVA <sub>TG</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 3,03$	
		LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = 3,157 + 0,0502^{**}X$	0,890
		LVA <sub>JP</sub>	$\hat{Y} = 2,783 + 0,0542^{**}X$	0,995
PMVAG	LVA <sub>TG</sub>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,05$		
	LVA <sub>TM</sub>	$\hat{Y} = 0,823 - 0,0101^{**}X$	0,923	
	LVA <sub>JP</sub>	$\hat{Y} = 1/(0,969 + 0,0563^{**}X)$	0,848	

<sup>1</sup> Doses dos metais aplicadas nas amostras dos solos Cd = 0, 1, 2, 4, 8 e 16; Pb = 0, 23, 46, 92, 184 e 368; Cu = 0, 8, 16, 32, 64 e 128; Zn = 0, 23, 46, 92, 184 e 368; Ni = 0, 4, 8; 16, 32, 64 mgdm<sup>3</sup>.

\*, \*\* Significativo a 5 e 1% de probabilidade.

Na comparação, da produção média de matéria seca de raízes entre solos verificou-se que a produção de MSRA foi superior no LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub> em relação ao LVA<sub>TG</sub>. Fazendo-se a comparação da produção média de MSRA entre os metais, verificou-se que, nos latossolos LVA<sub>TG</sub> e LVA<sub>JP</sub>, esta foi superior no tratamento com Ni em comparação aos tratamentos Cu + Zn (Figura 32). Nos latossolos LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>, a produção média no tratamento com Cu foi superior à produção média no tratamento com Zn. Isto provavelmente ocorreu, porque, nos tratamentos com Zn, a matéria seca de raízes produzida pelas plantas foi reduzida com o aumento das doses do metal (Tabela 5), o que não foi observado para o Cu, cuja MSRA permaneceu constante, apesar do aumento das doses de Cu adicionadas aos solos.

No LVA<sub>TG</sub>, apesar da redução observada na produção de MSRA com a adição de Zn ao solo, a produção média não diferiu do tratamento com Cu.

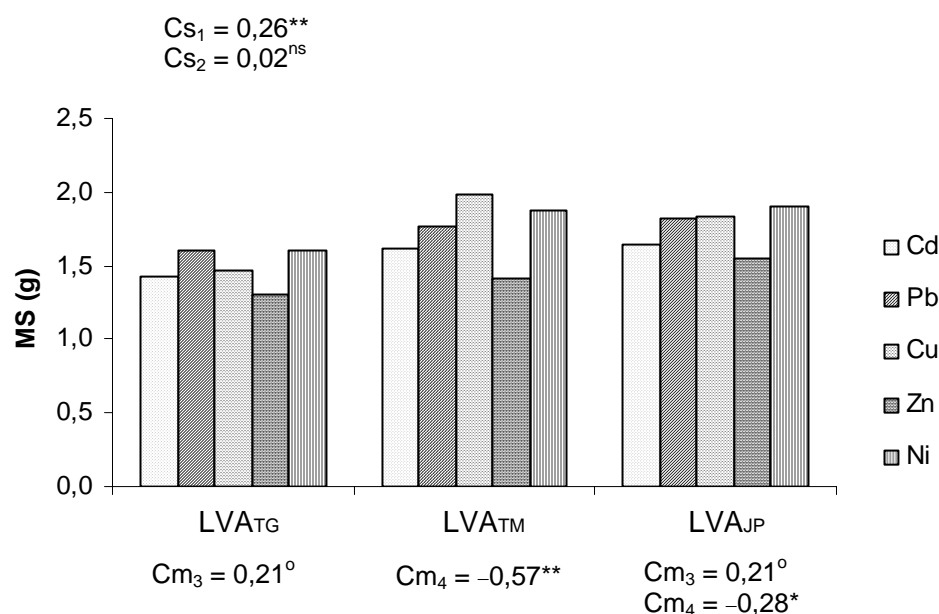


Figura 32 – Comparação da produção média de matéria seca de raízes de plantas de feijão entre os solos ( $Cs_1$ : efeito de LVA<sub>TG</sub> frente a LVA<sub>TG</sub> + LVA<sub>JP</sub>;  $Cs_2$ : efeito de LVA<sub>TG</sub> frente a LVA<sub>JP</sub>) e entre Cd, Pb, Cu, Zn e Ni ( $Cm_3$ : efeito de Cu + Zn frente a Ni;  $Cm_4$ : efeito de Cu frente a Zn).

<sup>ns</sup>, <sup>°</sup>, <sup>\*</sup>, <sup>\*\*</sup> Não significativo, significativo a 10, 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Ao comparar-se a produção média de matéria seca dos caules das plantas de feijão, entre os valores observados para cada solo (Figura 33), ao contrário do observado para as raízes, verificou-se que esta foi superior nas plantas cultivadas no LVA<sub>TG</sub> quando comparado com a produção média de MSCL das plantas cultivadas no LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>. Comparando-se a produção média de MSCL entre os metais, para cada solo, verificou-se a 10% de significância que no LVA<sub>TG</sub>, esta produção foi 0,10 g superior nos tratamentos Cd + Pb frente à Cu + Zn + Ni (Figura 33), evidenciando, ao contrário do esperado, efeito positivo dos metais Cd e Pb na produção média de MSCL.

No LVA<sub>TM</sub>, a produção média MSCL nas plantas cultivadas nos vasos com doses crescentes de Cu foi superior em 0,18 g quando comparado com Zn. No LVA<sub>JP</sub> ocorreu diferença entre os tratamentos Cd e Pb, sendo a produção média de matéria seca superior em 0,23 g nas plantas cultivadas sob a aplicação de doses de Pb.

Na comparação da produção média de matéria seca de folhas das plantas de feijão entre os solos (Figura 34), independente dos metais,

observou-se que a produção no LVA<sub>TG</sub> foi superior ao LVA<sub>TM</sub> + LVA<sub>JP</sub> em 0,33 g. Assim como foi observado para a produção média de MSCL (Figura 33).

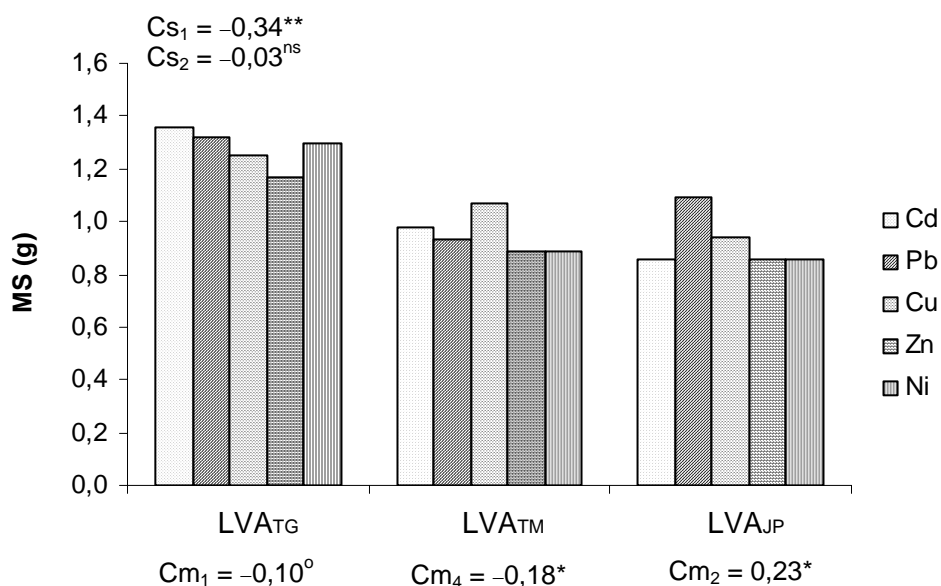


Figura 33 – Comparação da produção média de matéria seca de caules de plantas de feijão entre os solos ( $Cs_1$ : efeito de LVA<sub>TG</sub> frente a LVA<sub>TM</sub> + LVA<sub>JP</sub>;  $Cs_2$ : efeito de LVA<sub>TM</sub> frente a LVA<sub>JP</sub>) e entre Cd, Pb, Cu, Zn e Ni ( $Cm_3$ : efeito de Cu + Zn frente a Ni;  $Cm_4$ : efeito de Cu frente a Zn).

<sup>ns</sup>, <sup>o</sup>, <sup>\*</sup>, <sup>\*\*</sup> Não significativo, significativo a 10, 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Ao comparar-se a produção média de MSFL entre os metais (Figura 34), verificou-se para os latossolos LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub> o mesmo resultado observado para produção média de MSCL. Ou seja, nos vasos com doses crescentes de Cu esta produção foi superior em 0,21 g quando comparado com Zn. Para o LVA<sub>JP</sub>, ocorreu diferença na produção média de MSFL entre os tratamentos Cd e Pb, sendo a produção média de matéria seca superior em 0,40 g nas plantas cultivadas sob a aplicação de doses de Pb.

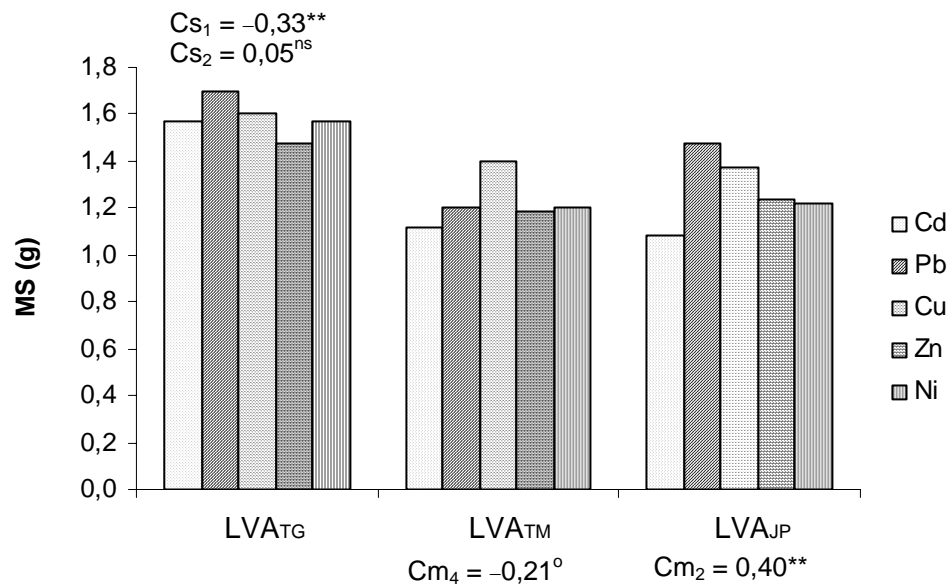


Figura 34 – Comparação da produção média de matéria seca de folhas de plantas de feijão entre os solos ( $Cs_1$ : efeito de LVA<sub>TG</sub> frente a LVA<sub>TM</sub> + LVA<sub>JP</sub>;  $Cs_2$ : efeito de LVA<sub>TM</sub> frente a LVA<sub>JP</sub>) e entre Cd, Pb, Cu, Zn e Ni ( $Cm_3$ : efeito de Cu + Zn frente a Ni;  $Cm_4$ : efeito de Cu frente a Zn).

<sup>ns</sup>, <sup>o</sup>, <sup>\*</sup>, <sup>\*\*</sup> Não significativo, significativo a 10, 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Na comparação da produção de matéria seca de vagem das plantas de feijão (MSVAG) entre os solos LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub> (Figura 35), independente dos metais, assim como observado para produção média de MSC<sub>L</sub> e MS<sub>FL</sub>, a produção média de MSVAG foi superior em 0,75 g no LVA<sub>TG</sub>, em relação aos solos LVA<sub>TM</sub> + LVA<sub>JP</sub>. Com relação à comparação da produção média de MSVAG, entre os metais, não observou-se diferença para o LVA<sub>TG</sub> (Figura 35). No LVA<sub>TM</sub>, observou-se que a produção média de MSVAG foi superior em 0,52 g quando comparou-se os metais Cd + Pb com Cu + Zn + Ni.

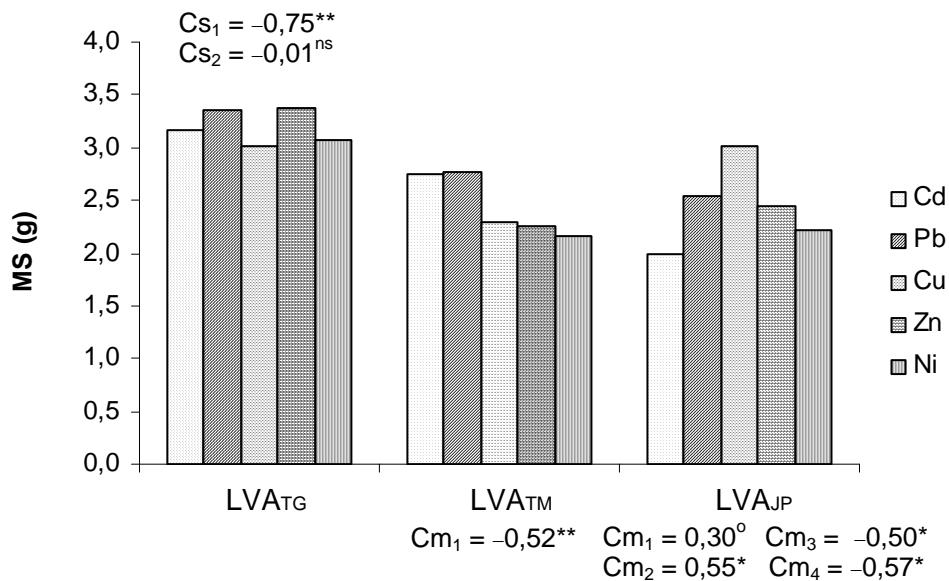


Figura 35 – Comparação da produção média de matéria seca de vagens de plantas de feijão entre os solos (Cs<sub>1</sub>: efeito de LVA<sub>TG</sub> frente a LVA<sub>TM</sub> + LVA<sub>JP</sub>; Cs<sub>2</sub>: efeito de LVA<sub>TM</sub> frente a LVA<sub>JP</sub>) e entre Cd, Pb, Cu, Zn e Ni (Cm<sub>3</sub>: efeito de Cu + Zn frente a Ni; Cm<sub>4</sub>: efeito de Cu frente a Zn).

<sup>ns</sup>, <sup>o</sup>, <sup>\*</sup>, <sup>\*\*</sup> Não significativo, significativo a 10, 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

No LVA<sub>JP</sub>, para todos os contrastes testados observou-se diferenças significativas na produção média de matéria seca de vagens (Figura 35). Ao contrário do observado no solo LVA<sub>TM</sub>, na comparação dos metais Cd + Pb com Cu + Zn + Ni, observou-se uma produção de 0,30 g superior para estes últimos quando comparados com os primeiros. Provavelmente devido à maior produção de matéria seca observada no tratamento com Cu.

No contraste entre os metais Cd e Pb, observou-se produção 0,55 g superior no tratamento com Pb. Comparando-se Cu + Zn com o tratamento com Ni, observou-se que os primeiros, em média, foram superiores em 0,50 g e comparando-se a produção de MSVAG no tratamento com Cu frente ao Zn, verificou-se que produção média foi superior em 0,57 g no tratamento com Cu.

Avaliou-se também o número médio de vagens por planta (NVAG). Fazendo-se o contraste entre solos, ao contrário dos resultados de produção média de matéria seca da parte aérea das plantas (folhas, caule e vagens) verificou-se maior produção nos latossolos LVA<sub>TM</sub> + LVA<sub>JP</sub>, quando comparados com LVA<sub>TG</sub> (Figura 36). Este resultado foi influenciado,

provavelmente, pelo maior número de vagens por planta encontrado no tratamento com Ni nos solos LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>, que foram superiores aos encontrados no LVA<sub>TG</sub>.

Novamente para o LVA<sub>TG</sub> não observou-se diferença significativa no número de vagens por planta entre os metais (Figura 36). Nos latossolos LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>, observou-se produção média superior em 1,22 e 0,86 nos tratamentos com Ni quando comparados a Cu + Zn para os latossolos LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>, respectivamente.

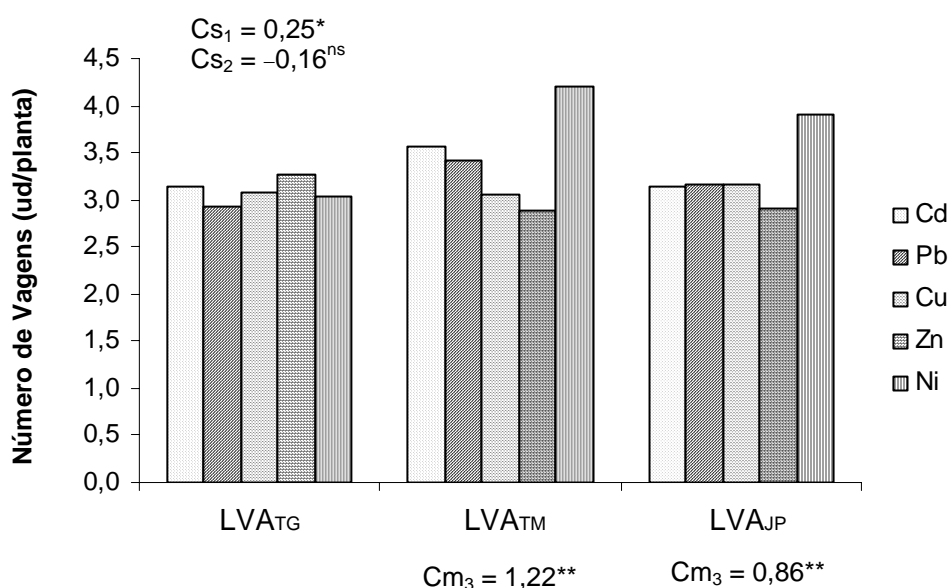


Figura 36 – Comparação do número médio de vagens em plantas de feijão entre os solos ( $Cs_1$ : efeito de LVA<sub>TG</sub> frente a LVA<sub>TM</sub> + LVA<sub>JP</sub>;  $Cs_2$ : efeito de LVA<sub>TM</sub> frente a LVA<sub>JP</sub>) e entre Cd, Pb, Cu, Zn e Ni ( $Cm_3$ : efeito de Cu + Zn frente a Ni;  $Cm_4$ : efeito de Cu frente a Zn).  
<sup>ns</sup>, <sup>o</sup>, \*, \*\* Não significativo, significativo a 10, 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Para o peso médio de vagens por planta (PMVAG), na comparação entre os solos LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub> (Figura 37), independente dos metais, verificou-se que o peso médio de vagens por planta no LVA<sub>TG</sub> foi superior em 0,28 g em relação aos solos LVA<sub>TM</sub> + LVA<sub>JP</sub>. Com relação à comparação do PMVAG entre os metais, para cada solo, não se observou diferença entre os metais para o LVA<sub>TG</sub> (Figura 37).

No LVA<sub>TM</sub>, observou-se que o PMVAG foi superior em 0,45 g nos tratamentos Cu + Zn frente ao tratamento com Ni. Apesar de não ter sido encontrada diferença significativa na produção média de MSVAG entre estes

tratamentos, para este solo, ocorreu diferença no NVAG, o que refletiu em menor PMVAG no tratamento com Ni, tanto no LVA<sub>TM</sub> como no LVA<sub>JP</sub>.

No solo LVA<sub>JP</sub> observou-se que os tratamentos Cu + Zn + Ni foram superiores em 0,10 g aos tratamentos Cd + Pb e que o tratamento com Pb foi superior em 0,16 g ao tratamento com Cd.

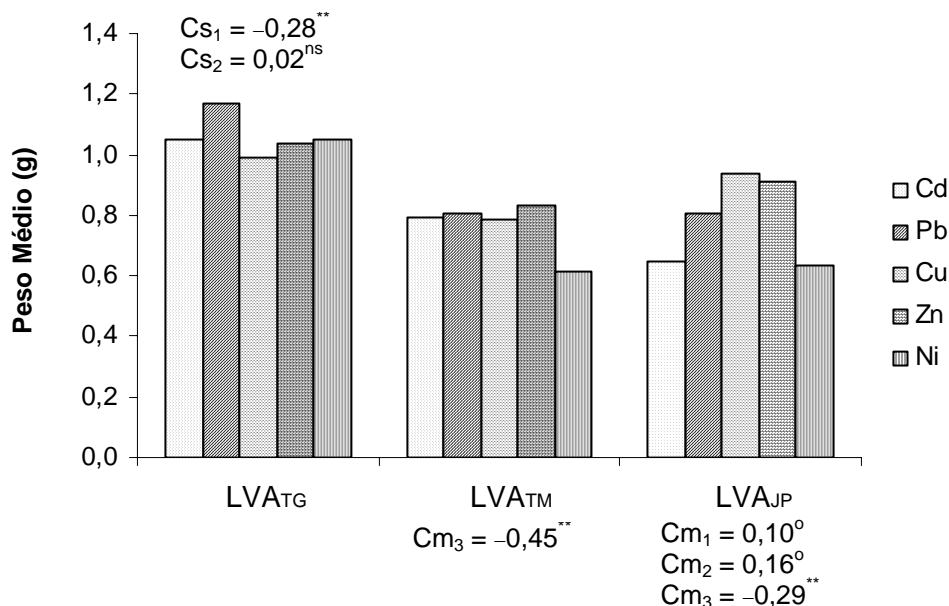


Figura 37 – Comparação do peso médio de vagens de plantas de feijão entre os solos ( $CS_1$ : efeito de LVA<sub>TG</sub> frente a LVA<sub>TM</sub> + LVA<sub>JP</sub>;  $CS_2$ : efeito de LVA<sub>TM</sub> frente a LVA<sub>JP</sub>) e entre Cd, Pb, Cu, Zn e Ni ( $CM_3$ : efeito de Cu + Zn frente a Ni;  $CM_4$ : efeito de Cu frente a Zn).

<sup>ns</sup>, <sup>o</sup>, <sup>\*</sup>, <sup>\*\*</sup> Não significativo, significativo a 10, 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Apesar de não ter sido observado o efeito, do aumento das doses dos metais na produção de MS das plantas cultivadas nos solos LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>, a maior disponibilidade destes metais e conseqüente absorção pelas plantas, interferiram no crescimento destas, indicando que o rendimento potencial das plantas de feijão foi afetado, visto que, com exceção da produção de matéria seca de raízes e do número de vagens por planta, as produções de MS das plantas de feijão foram superiores no LVA<sub>TG</sub> quando comparadas com as produções de MS das plantas cultivadas nos solos LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>. Este resultado, como discutido anteriormente, é devido às características do LVA<sub>TG</sub>, que levaram à redução na disponibilidade dos metais para as plantas e favoreceram o maior crescimento destas.

#### **4.5. Teores de cádmio, chumbo, cobre, zinco e níquel recuperados por Mehlich-3, nas amostras dos latossolos, após o cultivo com plantas de alface e feijão**

Observou-se que com o aumento das doses dos metais aplicadas aos solos aumentaram as quantidades recuperadas pelo extrator Mehlich-3 (M-3) para todos os metais em todos os latossolos, para as duas espécies cultivadas. (Figuras 38 a 42).

Os teores estimados para Cd, nas amostras dos solos, retiradas dos vasos utilizados no experimento com alface (Figura 38), de acordo com as equações ajustadas, para a maior dose do metal aplicada aos solos, foram de 78,51; 60,25 e 74,94 para os solos LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>, respectivamente. Ao contrário dos teores determinados na parte aérea das plantas de alface, os teores de Cd recuperados pelo extrator no LVA<sub>TG</sub> foram maiores que nos outros latossolos, para a maior dose aplicada e nas outras doses não houve diferença.

Para o experimento com feijão, observou-se que os teores de Cd recuperados pelo extrator M-3 foram semelhantes para os solos LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub> (Figura 38). Na dose máxima aplicada aos latossolos os teores estimados foram de 82,13; 101,76 e 89,74 mg/dm<sup>3</sup> para LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>, respectivamente.

A disponibilidade destes elementos e, conseqüentemente, a toxicidade para as plantas podem ser modificadas pelo pH do solo, pela matéria orgânica e argila. Ambas aumentam a capacidade de troca de cátions no solo que pode levar à decréscimo na toxicidade (WALLACE e WALLACE, 1994). Araújo et al. (2002) verificaram que o teor de carbono orgânico foi a variável que mais influenciou a adsorção de Cd em 12 classes de solos do Brasil. Mas, nas condições do presente experimento, o extrator M-3 foi capaz de solubilizar os metais que encontravam-se complexados pela matéria orgânica no LVA<sub>TG</sub>. Segundo Pickering (1981) citado por Nascimento (2001), os extratores ácidos deslocam cátions adsorvidos, dissolvem carbonatos e hidróxidos não parcialmente cristalizados e provocam dissolução parcial de minerais de argila silicatados. O M-3 além do efeito da acidez (pH na faixa de 2,5) tem ainda, em sua composição, o EDTA que pode atuar complexando os micronutrientes.

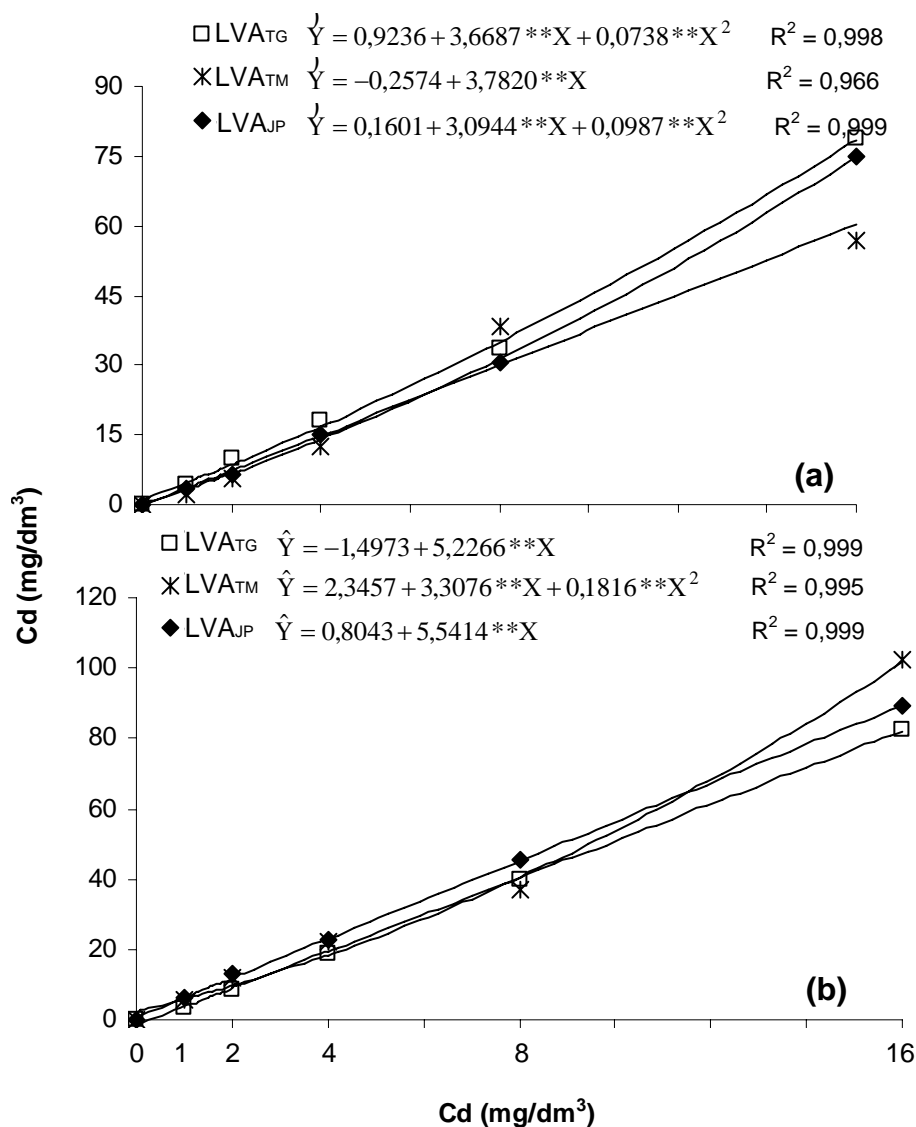


Figura 38 – Equações de regressão entre as doses de Cd aplicadas em três solos (LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>) e os teores de Cd recuperados por Mehlich-3 após o cultivo de alface (a) e feijão (b).

Observou-se que os teores de Cd recuperados nas amostras dos latossolos no experimento com feijão foram superiores aos teores recuperados nas amostras dos solos do experimento com alface. Isto pode ter acontecido devido à bioacumulação deste elemento na parte aérea das plantas de alface que foi superior à observada para o feijão. Dividindo-se o teor na parte aérea das plantas pelo teor recuperado pelo extrator verificou-se que a absorção e translocação do Cd na alface foi, aproximadamente, 22% superior à do feijão.

Pelas equações de regressão ajustadas (Figura 39) os teores estimados de Pb recuperados por M-3 para maior dose desse metal adicionada ao três latossolos, para o experimento com alface, foram 1756,84; 1301,82 e 1562,45

mg/dm<sup>3</sup> para LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub>, LVA<sub>JP</sub>, respectivamente. Para o experimento com feijão esses teores ficaram em 1935,45; 2142,77 e 1781,08 mg/dm<sup>3</sup> para LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub>, LVA<sub>JP</sub>, respectivamente.

Não houve diferença evidente nos teores de Pb recuperados pelo extrator M-3 para os três solos e para as duas espécies de plantas (Figura 39). Exceção foi observada para os teores de Pb recuperados no LVA<sub>TG</sub> que foram numericamente superiores aos encontrados nos solos LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub> utilizados no cultivo da alface.

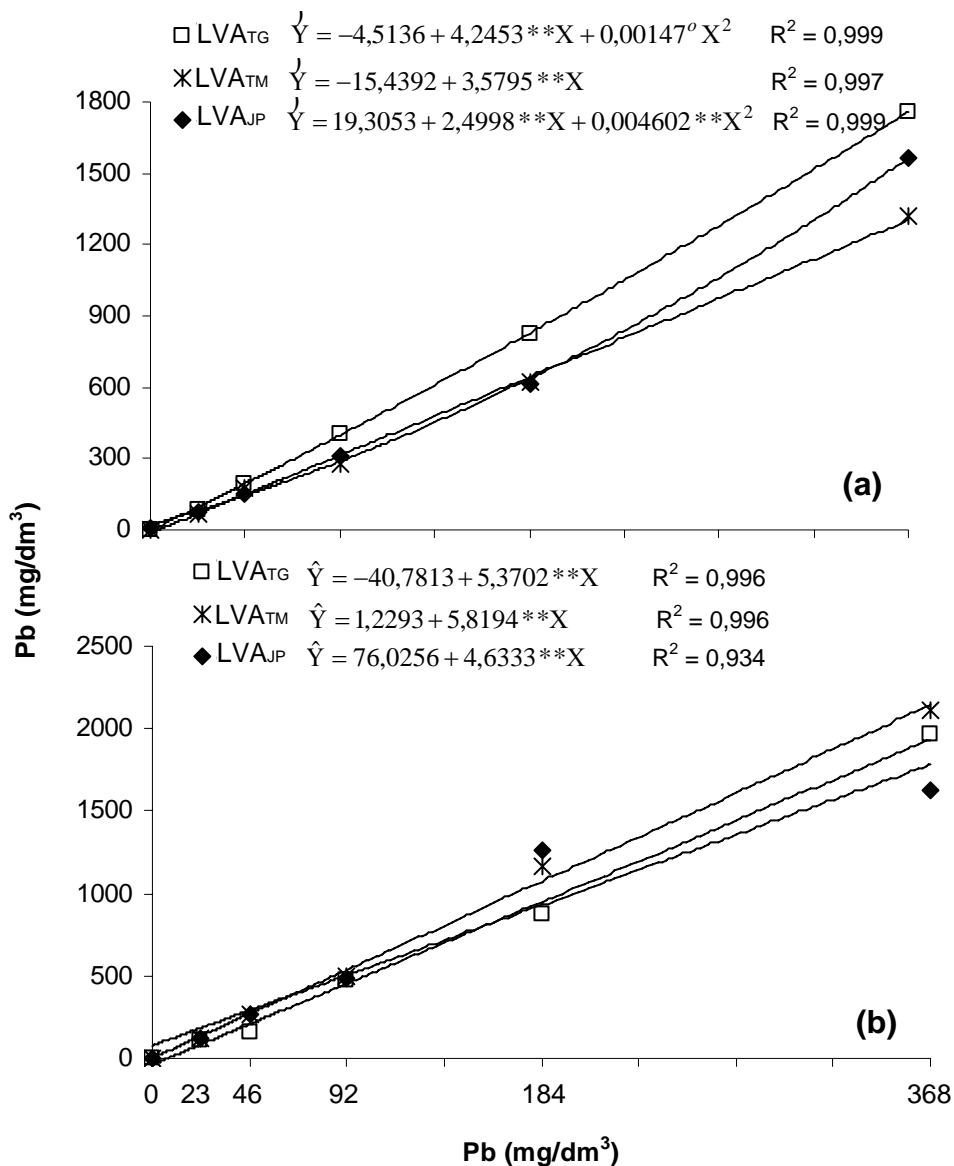


Figura 39 – Equações de regressão entre as doses de Pb aplicadas em três solos (LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>) e os teores de Pb recuperados por Mehlich-3 após o cultivo de alface (a) e feijão (b).

Esta disponibilidade, indicada pelo teor recuperado por este extrator, não se refletiu em translocação para os grãos visto que, o teor médio nos grãos das plantas cultivado no LVATG foi bem inferior aos teores de Pb encontrados nos grãos das plantas cultivadas nos solos LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub> (Figura 19). Como discutido anteriormente, isto deveu-se provavelmente ao maior teor de argila, matéria orgânica e óxido de ferro deste solo, que complexou o metal pesado e reduziu sua disponibilidade para as plantas.

Ao contrário do observado no presente trabalho, Mantovani et al. (2004), avaliando a disponibilidade de metais pesados em solos tratados com vermicomposto de lixo urbano e calcário, verificaram que o M-3 recuperou maiores quantidades de Pb no solo arenoso em relação ao solo argiloso utilizado no experimento. Estes autores verificaram ainda que o extrator detectou aumento nas quantidades extraídas com o aumento das doses de vermicomposto e que no solo arenoso o extrator M-3 apresentou maior capacidade de extração de Pb que os demais extratores (DTPA e Mehlich-1). Assim como observado por Mantovani et al. (2004), Araújo et al. (2002) observaram em 12 classes de solos do Brasil, efeito direto da fração argila sobre os parâmetros de adsorção do Pb, demonstrando ser a argila o principal componente do solo responsável por sua adsorção.

No caso do presente experimento, apesar do maior teor de argila no LVA<sub>TG</sub>, pelos valores de P-rem (Tabela 1), verifica-se que a capacidade tampão deste solo não se diferencia muito dos demais e por isso o extrator foi capaz de recuperar a mesma quantidade de Pb tanto dos latossolos mais arenosos (LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>) como do solo argiloso (LVA<sub>TG</sub>), não ocorrendo o desgaste do extrator neste solo.

Observou-se aumento dos teores de Cu recuperados pelo extrator M-3 com o aumento das doses de Cu aplicadas tanto nas amostras de solos cultivadas com alface, como para as amostras de solos utilizadas no cultivo do feijão (Figura 40). Os teores de Cu estimados nos solos após o cultivo com plantas de alface, recuperados pelo extrator M-3 foram 97,35; 112,96 e 82,31 mg/dm<sup>3</sup> para os latossolos LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>, respectivamente, para a maior dose de Cu aplicada. Nas amostras de solos utilizados no cultivo com feijão, os teores de Cu estimados foram de 78,48; 120,27 e 121,58 mg/dm<sup>3</sup> para os solos LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>, respectivamente (Figura 40).

Os menores teores de Cu recuperados pelo M-3 no LVA<sub>TM</sub>, no experimento com feijão, podem ser devidos aos maiores teores de matéria orgânica e óxidos de ferro, principalmente goethita, existentes neste solo promovendo a adsorção do metal. Esta adsorção do Cu pela matéria orgânica foi observada por McLaren e Crawford (1973) em 24 solos, nos quais, os óxidos de Mn e a matéria orgânica foram os principais responsáveis pela adsorção de Cu, seguidos pelos óxidos de Fe e os minerais de argila.

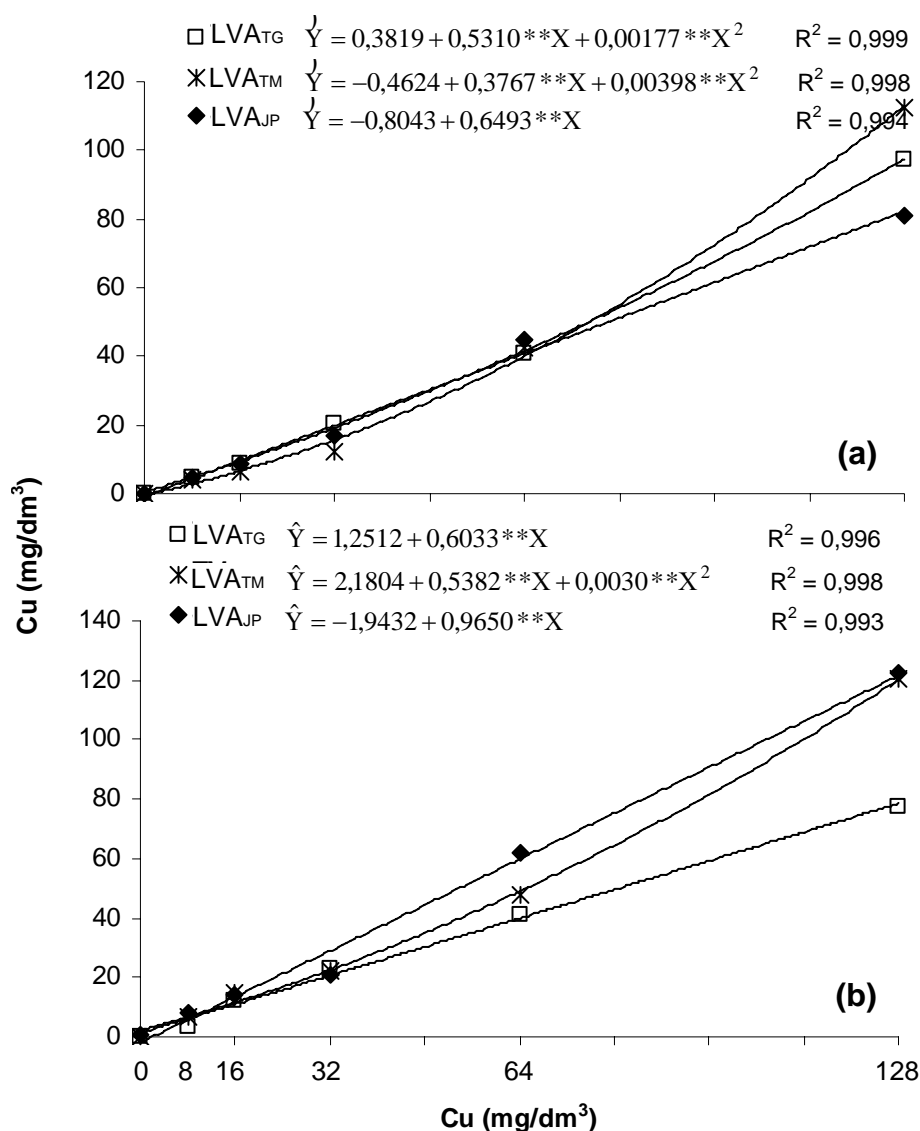


Figura 40 – Equações de regressão entre as doses de Cu aplicadas em três solos (LVA<sub>TM</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>) e os teores de Cu recuperados por Mehlich-3 após o cultivo de alface (a) e feijão (b).

Assim como verificado por McLaren e Crawford (1973), Santos Neto (2003) verificou que, para Cu, o extrator M-3 foi sensível à capacidade tampão do solo e a calagem reduziu as taxas de recuperação pelo extrator. Estas taxas, segundo o autor, variaram de acordo com os teores de matéria orgânica, quantidade e qualidade da argila e equivalente de umidade. As equações de regressão múltiplas ajustadas para os 21 solos estudados mostraram que os teores de matéria orgânica e de argila foram as principais características dos solos explicando as declividades das equações do nutriente recuperado em função do adicionado. Por outro lado, Mantovani et al. (2004) verificaram que os teores de Cu recuperados por M-3 em solo argiloso, submetido a aplicação de doses crescentes de vermicomposto, foram superiores aos teores de Cu recuperados por este extrator em solo de textura arenosa.

As equações de regressão ajustadas entre as doses de Zn aplicadas e os teores recuperados pelo extrator M-3, nas amostras dos solos após o cultivo com alface e feijão encontram-se na Figura 41. Observou-se aumento dos teores de Zn recuperados em função do aumento da doses de Zn aplicadas nos três solos para as duas espécies cultivadas. Os teores de Zn estimados para a maior dose aplicada aos solos, no experimento com alface, foram 517,82; 359,67 e 414,27 mg/dm<sup>3</sup> para os solos LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>, respectivamente. No experimento com feijão, os teores estimados de Zn recuperados pelo extrator M-3 foram 675,13; 618,52 e 666,88 mg/dm<sup>3</sup> para os solos LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>, respectivamente.

Os teores de Zn, recuperados pelo extrator M-3 no LVA<sub>TG</sub>, foram numericamente superiores aos teores de Zn recuperados nos solos LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>. Ao contrário do observado para Cu, os maiores teores de matéria orgânica não afetaram a capacidade de recuperação do Zn pelo extrator utilizado. Este resultado não acompanha as observações de Nascimento (2001) que verificou que, até 67% do Zn total, disponível em solos de Minas Gerais, encontrava-se associado à fração matéria orgânica, ficando em 18% em média.

Mantovani et al. (2004), também verificaram que a quantidade de Zn recuperada por M-3 em solo arenoso foi superior à quantidade recuperada em solo argiloso, ambos submetidos previamente à aplicação de doses crescentes de vermicomposto (0, 25, 50, 75 e 100 ton/ha) com alto teor de Zn (455 mg/kg).

Menezes (1998) encontrou correlações negativas entre as taxas de recuperação de Zn em solo pelos extratores M-1, M-3 e DTPA, os teores de argila e o equivalente de umidade. Esta autora verificou que as maiores taxas de recuperação de Zn pelos extratores ocorreram nos solos mais arenosos sendo esse resultado indicado pelas elevadas correlações negativas entre os teores de argila e as declividades das equações de Zn recuperado em função do adicionado. Isto não foi observado no presente experimento, onde, os maiores teores de Zn recuperados pelo extrator M-3, foram iguais ou superiores no LVA<sub>TG</sub> em relação aos solos LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>, para os dois experimentos.

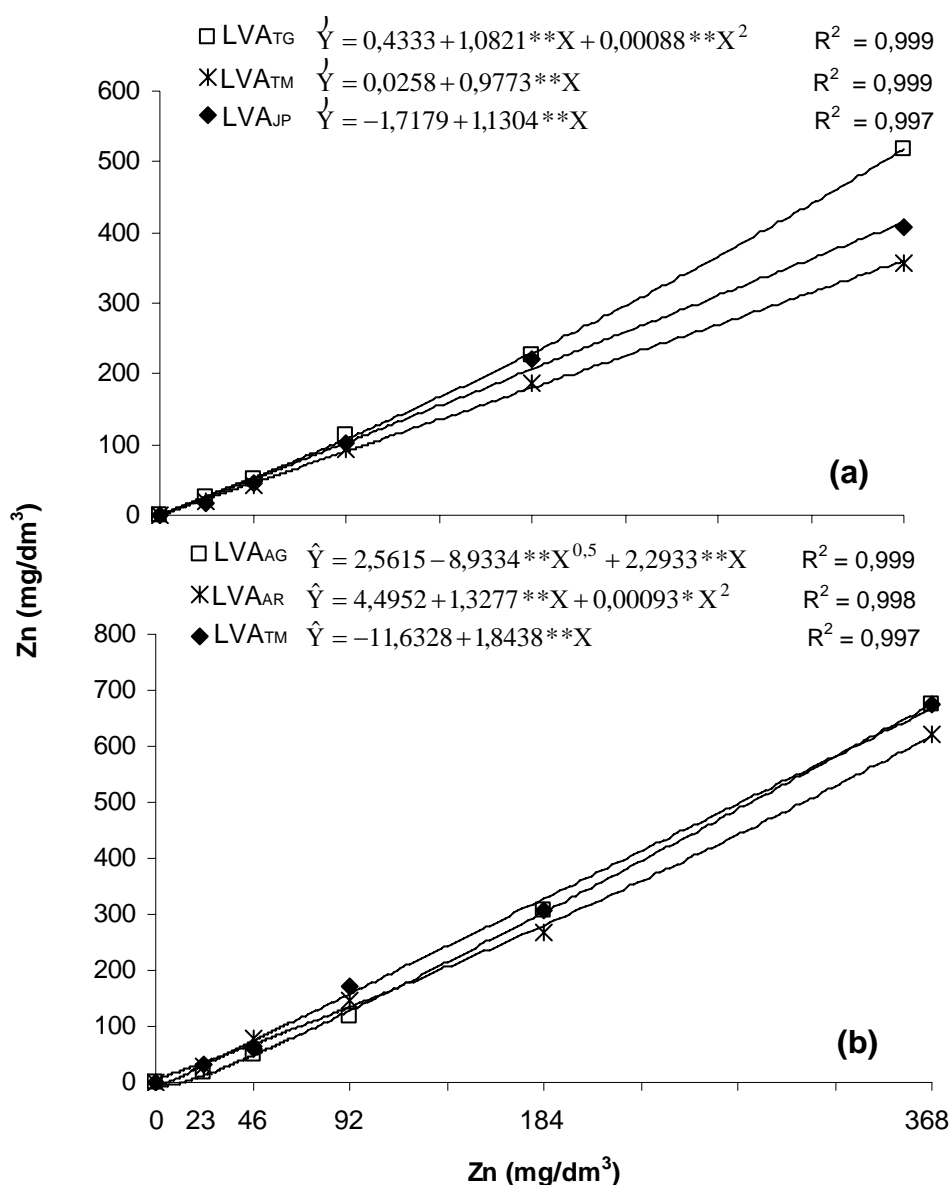


Figura 41 – Equações de regressão entre as doses de Zn aplicadas em três solos (LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>) e os teores de Zn recuperados por Mehlich-3 após o cultivo de alface (a) e feijão (b).

Esta maior capacidade de recuperação do Zn pelo M-3, observado para o solo argiloso utilizado no presente experimento pode ser devido à qualidade da argila existente neste solo, podendo também ser devido às altas doses de Zn adicionadas como observado por Araújo e Nascimento (2005). Estes autores ao testarem diferentes extratores para este metal verificaram que os métodos químicos estudados apresentaram eficácia semelhante em avaliar a disponibilidade do Zn para as plantas, em solos enriquecidos com esse elemento. Em teores altos de metais pesados no solo, os extratores se igualaram (Araújo e Nascimento, 2005).

Assim como observado para Cd, Pb, Cu e Zn, com o aumento das doses de Ni aplicadas aos solos, ocorreu aumento nos teores de Ni recuperados pelo extrator M-3 para os três solos e para as duas espécies cultivadas (Figura 42).

Os teores de Ni recuperados pelo extrator M-3, para o experimento com alface, praticamente não diferiram entre os solos (Figura 42). Apesar dos modelos de equações ajustados terem sido distintos, observa-se que a diferença nos valores observados e estimados é mínima e para maior dose de Ni aplicada aos solos os teores de Ni estimados foram de 30,57; 34,70 e 30,43 para os solos LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>, respectivamente.

Ao contrário do experimento com alface, os teores de Ni recuperados pelo extrator M-3, das amostras de solo utilizadas no cultivo com feijão foram diferentes entre os solos. Os teores de Ni recuperados foram maiores no solo de textura arenosa (LVA<sub>TM</sub>), seguido pelos teores recuperados nas amostras do LVA<sub>JP</sub>, de textura média e, por último dos teores recuperados no solo de textura argilosa (LVA<sub>TG</sub>). Para maior dose de Ni aplicada aos latossolos, os teores estimados foram de 54,22; 44,17 e 30,17 e mg/dm<sup>3</sup> para os solos LVA<sub>TM</sub>, LVA<sub>JP</sub> e LVA<sub>TG</sub>, respectivamente.

Santos (2001) verificou que o pH e a CTC efetiva foram os fatores mais importantes regulando a capacidade tampão de Ni em solos. Já Camargo et al. (1989), estudando a adsorção de Ni em Latossolos do Estado de São Paulo, verificaram que a capacidade máxima de adsorção de Ni correlacionou-se positivamente com a CTC efetiva e correlacionou-se também com os teores de matéria orgânica. No entanto, Gomes et al. (1997) verificaram que Ni

apresentou pequena afinidade pela matéria orgânica, se encontrando retido, predominantemente na fase mineral do solo.

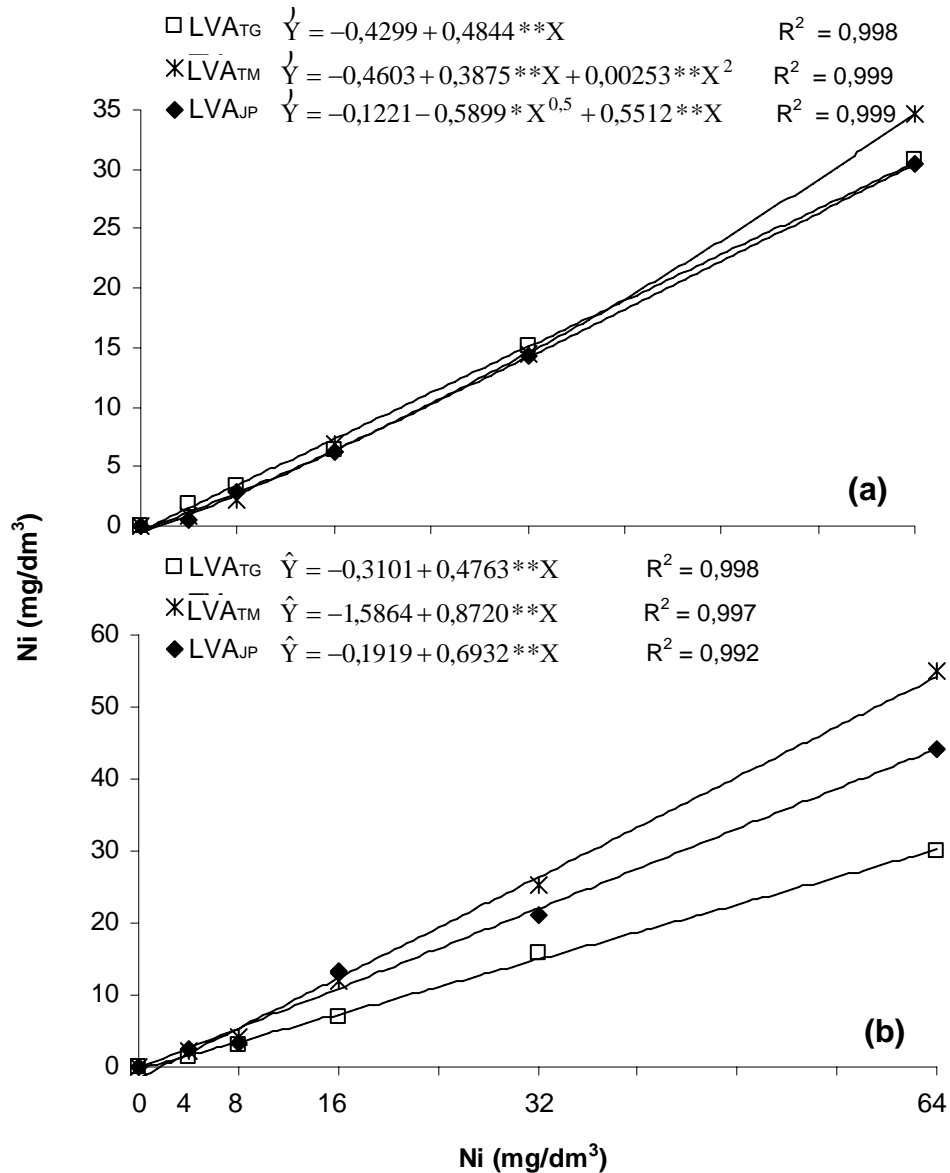


Figura 42 – Equações de regressão entre as doses de Ni aplicadas em três solos (LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>) e os teores de Ni recuperados por Mehlich-3 após o cultivo de alface (a) e feijão (b).

Assim como ocorreu para os outros metais estudados, os teores de Ni recuperados das amostras dos solos utilizados no experimento com feijão foram superiores aos teores de Ni recuperados no experimento com alface. Ocorreu exceção apenas no LVA<sub>TG</sub>, onde os teores de Ni recuperados pelo extrator praticamente não diferiram entre os experimentos.

#### **4.6. Correlação entre o conteúdo e o teor de cádmio, chumbo, cobre, zinco e níquel na parte aérea de plantas de alface e nas folhas de plantas de feijão e os teores dos metais recuperados por Mehlich-3**

Na avaliação conjunta dos solos verificou-se correlações elevadas entre o conteúdo e o teor de Cd na parte aérea das plantas de alface e nas folhas das plantas de feijão e os teores de Cd recuperados pelo extrator M-3 (Tabela 6). Correlações significativas também foram observadas para fumo (Mulchi et al., 1991), já Anjos e Mattiazzo (2001) verificaram que o extrator M-3 não foi eficiente na previsão da disponibilidade de Cd para plantas de milho.

Para Pb, também observou-se correlações significativas entre o conteúdo e o teor de Pb na parte aérea das plantas de alface e nas folhas do feijoeiro de acordo com os teores de Pb recuperados dos solos pelo M-3 (Tabela 6).

Mantovani (1999), citado por Abreu et al. (2002) estudando os reflexos ambientais do uso agrícola de vermicomposto de lixo urbano, verificou que os extratores Mehlich-3, Mehlich-1, HCl e DTPA foram eficientes em avaliar a disponibilidade de Pb para alface, embora os valores de correlação entre o Pb absorvido pela planta e o teor de Pb extraído do solo tenham sido baixos.

Abreu et al. (1998), ao compararem procedimentos de extração de Pb que melhor estimassem a disponibilidade desse elemento às plantas, coletando amostras de solo e de plantas a 500 e 1000 m de uma fonte poluidora (indústria produtora de lingotes de Pb), verificaram que o DTPA e o Mehlich-3 foram igualmente eficientes em avaliar a disponibilidade do elemento. Os autores concluíram que ambas as soluções extratoras poderão ser utilizadas no monitoramento do impacto ambiental causado por Pb. Segundo Araújo e Nascimento (2005) em teores altos de metais pesados no solo, os extratores se igualam. O presente trabalho mostra que para culturas como alface e feijão o M-3 pode ser utilizado na avaliação da disponibilidade de Pb para as plantas.

Correlacionando-se o conteúdo e o teor de Cu na parte aérea das plantas de alface e os teores de Cu nos solos recuperados por M-3, verificou-se baixa correlação (0,46 e 0,47), respectivamente (Tabela 6). Ao contrário do observado no experimento com alface, para o experimento com feijão, obtiveram-se altos índices de correlação entre o conteúdo e o teor de Cu nas folhas do feijoeiro e o teor recuperado por M-3 (Tabela 6).

Tabela 6 – Coeficientes de correlação linear de Pearson entre o conteúdo e o teor dos metais Cd, Pb, Cu, Zn e Ni na parte aérea (PA) de plantas de alface e nas folhas (FL) de plantas de feijão e os teores destes metais recuperados com Mehlich-3 para o conjunto dos solos (SL).

<b>Coeficientes de correlação</b>					
<b>ALFACE</b>					
	Cd (PA)	Pb (PA)	Cu (PA)	Zn (PA)	Ni (PA)
----- Conteúdo -----					
Cd (M-3)	0,87**	-0,11	-0,10	-0,11	-0,11
Pb (M-3)	-0,06	0,70**	-0,05	-0,06	-0,07
Cu (M-3)	-0,03	0,08	0,46*	-0,42*	-0,23
Zn (M-3)	-0,27	-0,06	-0,10	0,23 <sup>ns</sup>	-0,23
Ni (M-3)	-0,06	-0,06	-0,06	-0,11	0,83**
----- Teor -----					
Cd (M-3)	0,81**	-0,10	-0,09	-0,10	-0,11
Pb (M-3)	-0,06	0,65**	-0,04	-0,05	-0,07
Cu (M-3)	-0,08	0,09	0,47*	-0,21	-0,23
Zn (M-3)	-0,17	-0,07	-0,07	0,75**	-0,16
Ni (M-3)	-0,07	-0,06	-0,05	-0,09	0,85**
<b>FEIJÃO</b>					
	Cd (FL)	Pb (FL)	Cu (FL)	Zn (FL)	Ni (FL)
----- Conteúdo -----					
Cd (M-3)	0,86**	-0,12	-0,09	-0,09	-0,09
Pb (M-3)	-0,11	0,88**	-0,08	-0,07	-0,06
Cu (M-3)	-0,11	-0,08	0,92**	-0,04	-0,07
Zn (M-3)	-0,16	-0,06	-0,06	0,89**	-0,12
Ni (M-3)	-0,14	-0,06	0,00	-0,08	0,87**
----- Teor -----					
Cd (M-3)	0,91**	-0,11	-0,08	-0,08	-0,08
Pb (M-3)	-0,09	0,88**	-0,08	0,05	-0,05
Cu (M-3)	-0,11	-0,11	0,94**	-0,01	-0,06
Zn (M-3)	-0,13	-0,08	-0,06	0,96**	-0,10
Ni (M-3)	-0,10	-0,08	-0,01	-0,04	0,85**

\*, \*\* Significativo a 5 e a 1 % de probabilidade, respectivamente.

Baixa correlação (0,56) entre o Cu em plantas de trigo e o Cu extraído por M-3 também foi encontrada por Galrão e Sousa (1985), mas, Abreu et al. (1996), encontraram maior correlação (0,89) entre o Cu recuperado por M-3 e o Cu na parte aérea da mesma planta. Cancela et al. (2001) verificaram que o M-3, em relação a outros extratores, foi o que apresentou melhor correlação em relação ao conteúdo de Cu encontrado em plantas de milho (0,71) e soja (0,73) e os teores recuperados pelo extrator M-3. Galrão (1988) também observou maior eficácia de M-3 para cultivos de trigo em relação à avaliação da disponibilidade do Cu para as plantas. Mantovani et al. (2004) também verificaram correlação significativa e positiva entre as quantidades de Cu absorvidas por plantas de alface e os teores de Cu recuperados por M-3 tanto no solo argiloso como no arenoso utilizado no experimento. Estas variações observadas entre os trabalhos citados provavelmente são devidas às diferentes condições experimentais existentes, como o tempo de cultivo, a forma de adição do elemento em estudo (mineral ou fazendo parte de composto orgânico), etc. Segundo Cancela et al. (2001) a complexidade da química do solo e da relação solo-planta é a principal razão para a existência do grande número de métodos usados na análise do solo.

Para os tratamentos com Zn, no experimento com alface, apenas para o teor observou-se correlação significativa (0,75) entre o teor de Zn na parte aérea das plantas de alface e os teores recuperados por M-3. Para o conteúdo de Zn não foi observada correlação significativa. Isto ocorreu provavelmente porque, enquanto as quantidades de Zn extraídas do solo por M-3 aumentaram com o aumento das doses de Zn adicionadas, as quantidades acumuladas pela planta diminuíram, devido à grande redução na produção de matéria seca da parte aérea das plantas de alface (Figura 9). Ao fazer a correlação com o teor esse efeito de redução na produção de matéria seca não é considerado e por isso a correlação com o teor de Zn foi altamente significativa e positiva.

Ao contrário do observado no experimento com alface, no experimento com feijão observou-se correlação positiva e significativa tanto para o conteúdo como para o teor de Zn nas folhas do feijão e os teores de Zn recuperados por M-3.

Segundo Anjos e Mattiazzo (2001), o extrator M-3 foi o que apresentou correlação alta e positiva com os metais Cu e Zn encontrados nas diversas

partes da planta de milho, com exceção dos teores encontrados nos grãos. Segundo os autores, esse extrator apresentou correlação alta e positiva com os metais presentes na folha indicada para diagnose. Martins et al. (2003) e Araújo e Nascimento (2005) também verificaram que o M-3 foi efetivo em avaliar a disponibilidade de Zn para milho em solos que receberam doses crescentes de lodo de esgoto.

Nos experimentos com alface e feijão, observou-se correlação altamente significativa entre o conteúdo e o teor de Ni nas plantas e os teores de Ni recuperados por M-3. Mulchi et al. (1991) observaram que M-3 foi eficiente na avaliação dos teores disponíveis de Ni para plantas de fumo cultivadas em solos que receberam lodo de esgoto, já Abreu et al. (1995) verificaram que este extrator foi ineficiente na avaliação da disponibilidade de Ni para plantas de trigo em 31 amostras de solos do Estado de São Paulo, mas, estes autores verificaram que quando a planta-teste foi o feijão, correlações significativas foram encontradas entre os metais no solo e na planta.

Pelos resultados encontrados no presente experimento e na literatura, a complexidade da relação solo-planta o principal motivo para o grande número de métodos usados na análise do solo e para os resultados distintos encontrados nos diferentes trabalhos de pesquisa. Ou seja, a eficácia das soluções extratoras depende principalmente do tipo de solo, do elemento em estudo e da espécie de planta usada como planta teste.

O ajuste de equações de regressão linear entre, o conteúdo e o teor dos metais na parte aérea das plantas de alface e nas folhas das plantas de feijão e os teores recuperados pelo extrator M-3 para o conjunto de solos encontram-se no Tabela 7.

Observa-se baixo coeficiente de determinação ( $R^2$ ) na equação ajustada entre, o teor de Cd nas plantas de alface e o teor de Cd recuperado por M-3, refletindo o menor coeficiente de correlação observado para o teor deste metal nas plantas (0,81) quando comparado com o conteúdo (0,87). Ao contrário do observado no experimento com alface, o menor  $R^2$  foi encontrado na equação ajustada entre o conteúdo do metal nas folhas de feijão e o teor no solo refletindo novamente, a menor correlação encontrada entre o conteúdo na planta (0,86) e o teor recuperado no solo em relação à correlação encontrada para o teor, que foi de 0,91.

Tabela 7. Equações de regressão linear entre o conteúdo (mg/planta) e o teor (mg/g) de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni na parte aérea (PA) de plantas de alface e nas folhas (FL) de feijão e o teor dos metais recuperado por Mehlich-3 (mg/dm<sup>3</sup>) independente do solo

Planta	Metal		Equação de Regressão	R <sup>2</sup>	
Alface	Cd	Conteúdo	$\hat{Y}_{CdPA} = 16,9763 + 8,9676 ** X_{CdSL}$	0,756	
		Teor	$\hat{Y}_{CdPA} = 6,6414 + 3,6385 ** X_{CdSL}$	0,663	
	Pb	Conteúdo	$\hat{Y}_{PbPA} = -0,5994 + 0,2556 ** X_{PbSL}$	0,494	
		Teor	$\hat{Y}_{PbPA} = -0,5612 + 0,1374 ** X_{PbSL}$	0,418	
	Cu	Conteúdo	$\hat{Y}_{CuPA} = 17,2952 + 0,2517 ** X_{CuSL}$	0,254	
		Teor	$\hat{Y}_{CuPA} = 6,6989 + 0,1082 ** X_{CuSL}$	0,217	
	Zn	Conteúdo	$\hat{Y}_{ZnPA} = 1086,56 + 1,5913 ** X_{ZnSL}$	0,053	
		Teor	$\hat{Y}_{ZnPA} = 340,70 + 4,5934 ** X_{ZnSL}$	0,557	
	Ni	Conteúdo	$\hat{Y}_{NiPA} = 7,0118 + 11,8378 ** X_{NiSL}$	0,686	
		Teor	$\hat{Y}_{NiPA} = 2,7656 + 4,3574 ** X_{NiSL}$	0,719	
	Feijão	Cd	Conteúdo	$\hat{Y}_{CdFL} = 0,2231 + 0,0978 ** X_{CdSL}$	0,746
			Teor	$\hat{Y}_{CdFL} = 0,1229 + 0,1030 ** X_{CdSL}$	0,827
Pb		Conteúdo	$\hat{Y}_{PbFL} = 0,7140 + 0,00769 ** X_{PbSL}$	0,776	
		Teor	$\hat{Y}_{PbFL} = 0,5432 + 0,00511 ** X_{PbSL}$	0,783	
Cu		Conteúdo	$\hat{Y}_{CuFL} = -0,2067 + 0,1390 ** X_{CuSL}$	0,843	
		Teor	$\hat{Y}_{CuFL} = -0,0294 + 0,0911 ** X_{CuSL}$	0,883	
Zn		Conteúdo	$\hat{Y}_{ZnFL} = 48,3532 + 1,5771 ** X_{ZnSL}$	0,802	
		Teor	$\hat{Y}_{ZnFL} = 23,5210 + 1,5089 ** X_{ZnSL}$	0,916	
Ni		Conteúdo	$\hat{Y}_{NiFL} = 5,2545 + 1,4237 ** X_{NiSL}$	0,753	
		Teor	$\hat{Y}_{NiFL} = 3,7709 + 1,2466 ** X_{NiSL}$	0,729	

\*\* Significativo a 1% de probabilidade.

Para os tratamentos que receberam doses crescentes de Pb, no experimento com alface, encontrou-se correlação de 0,70 e 0,65 entre o conteúdo e o teor nas plantas de alface e o teor nos solos, respectivamente. As equações de regressão ajustadas apresentaram baixo R<sup>2</sup> (Tabela 7) refletindo o menor coeficiente de correlação encontrado. No experimento com feijão, observou-se maior coeficiente de determinação para as equações ajustadas entre, o conteúdo e o teor de Pb nas folhas e os teores de Pb recuperados por M-3, quando comparado com o experimento com alface.

Com relação aos tratamentos que receberam doses crescentes de Cu, no experimento com alface, as equações lineares ajustadas entre, o conteúdo

e o teor nas plantas e teor recuperado por M-3, apresentaram valores de  $R^2$  muito baixos refletindo, a baixa correlação observada anteriormente. Já, para o experimento com feijão, o ajuste dos modelos para conteúdo e teor, ficou em 84 e 88%, respectivamente, indicando, como já observado pela alta correlação encontrada, que o M-3 foi eficiente em avaliar a disponibilidade de Cu para as plantas de feijão.

No experimento com alface, o coeficiente de determinação do modelo linear ajustado entre o conteúdo de Zn nas plantas e o teor recuperado por M-3, foi extremamente baixo, refletindo a baixa correlação observada entre estas variáveis (Tabela 6). Quando se ajustou a equação de regressão linear entre o teor de Zn na parte aérea das plantas de alface e o teor recuperado por M-3 o coeficiente de determinação ajustado foi bem superior. Isto ocorreu porque quando se utiliza o teor não ocorre o efeito da redução de matéria seca que é observado quando se utiliza o conteúdo.

No experimento com feijão, o melhor ajuste foi encontrado entre o teor de Zn nas folhas e o teor de Zn recuperado por M-3 quando comparado com o conteúdo.

Para o Ni, no experimento com alface o melhor ajuste foi observado entre o teor nas plantas e o teor no solo. No experimento com feijão, os modelos ajustados entre o conteúdo e o teor nas plantas e os teores recuperados pelo extrator M-3, apresentaram coeficiente de determinação acima de 72%.

## 5. CONCLUSÕES

- A variedade de feijão Carnaval absorveu e tolerou altos teores de Zn nas folhas, caules e raízes.

- A variedade de alface Regina de Verão absorveu altos teores de Zn, mas, não foi tolerante a estes altos teores que prejudicaram a produção de matéria seca da parte aérea das plantas.

- O maior teor de argila, a presença de óxidos de Fé e matéria orgânica do solo LVA<sub>TG</sub> reduziram a disponibilidade de Cd, Pb, Cu e Ni para plantas de alface e feijão e reduziram os efeitos prejudiciais destes metais no crescimento destas espécies.

- O extrator Mehlich-3 foi eficiente na avaliação da disponibilidade de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni para a cultura do feijão.

- O extrator Mehlich-3 foi eficiente na avaliação da disponibilidade de Cd e Ni para a cultura da alface.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, C.A.; ABREU, M.F. BERTON, R.S. Análise química de solos para metais pesados. In: ALVAREZ V. et al. **Tópicos em ciência do solo**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002, v.2, p.645-692.
- 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.57, n.1, 1998.
- ABREU, C.A.; ABREU, M.F.; RAIJ, B. van; SANTOS, W.R. Comparação de métodos de análise para avaliar a disponibilidade de metais pesados em solos. **R. Bras. Ci. Solo**, v.19, p.463-468, 1995.
- ABREU, C.A.; RAIJ, B. van; ABREU, M.F.; ANDRADE, J.C. Efficiency of multinutrients extractants for determination of available copper in soils. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, v.27, n.3/4, p.763-771, 1996.
- ADRIANO, D.C. **Trace elements in the terrestrial environment**. New York: Springer-Verlag, 1986. 533p.
- AERY, N.C. e JAGETIYA, B.L. Relative toxicity of cadmium, lead, and zinc on barley. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** v.28, p.949-960, 1997.
- ALLEONI, L.R.F.; BORBA, R.P; CAMARGO, O.A. Metais pesados: da cosmogênese aos solos brasileiros. In: ALVAREZ V. et al. **Tópicos em ciência do solo**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005, v.4, p.1-42.
- ALLOWAY, B.J. **Heavy metals in soils**. New York, John Wiley, 1990. 339p.
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E. e OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Boletim Informativo**. SBCS. Viçosa, MG, v.25, n.1, p.27-32, 2000.
- AMARAL SOBRINHO, N.M.B. Metais pesados em solos brasileiros. In: **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. ALVARES V., V.H.; FONTES, L.F.F; FONTES, M.P.F. (Eds) Viçosa, MG: SBCS; UFV, DPS, 1996. p.837-853.

- AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; VELLOSO, A.C.X.; OLIVEIRA, C. Solubilidade de metais pesados em solo tratado com resíduo siderúrgico. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.21, p.9-16, 1997.
- ANDRADE, S.A.L.; ABREU, C.A.; ABREU, M.F.; SILVEIRA, A.P.D. Interação de chumbo, da saturação por bases do solo e de micorriza arbuscular no crescimento e nutrição mineral da soja. **R. Bras. Ci. Solo**, v.27, p.945-954, 2003.
- ANJOS, A.R.M. e MATTIAZZO, M.E. Extratores para Cd, Cu, Cr, Mn, Ni, Pb e Zn em latossolos tratados com biossólido e cultivados com milho. **Sci. Agric.**, v.58, n.2, p.337-344, 2001.
- ARAÚJO, N.S.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; MAZUR, N.; GOMES, P.C. Relação entre adsorção de metais pesados e atributos químicos e físicos de classes de solo do Brasil. **R. Bras. Ci. Solo**, v.26, p.17-27, 2002.
- ARAÚJO, J.C.T. e NASCIMENTO, C.W.A. Fracionamento e disponibilidade de zinco por diferentes extratores em solos incubados com lodo de esgoto. **R. Bras. Ci. Solo**, v.29, p.977-985, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DA ALIMENTAÇÃO - ABIA. **Compêndio da legislação de alimentos**. São Paulo, 1985. n.p.
- BAKER, A.J.M. Accumulators and excluders – strategies in the response of plants to heavy metals. **J. Plant. Nutr.**, v.3, n.1-4, p.643-654, 1981.
- BALBA, A.M.; SHIBINY, G.E.; EL-KHATIB, E.S. Effect of lead increments on the yield and lead content tomato plants. **Water, Air Soil Poll.** v.57-58, n.1, p.93-99, 1991.
- BALIGAR, V.C.; FAGERIA, N.K.; ELRASHIDI, M.A. Toxicology and nutrient constraints on root growth. **HortScience**, v.33, n.6, p.960-965, 1998.
- BERRY, W.L. Plant factors influencing the use of plant analysis as a tool for biogeochemical prospecting. In: CARLISLE, D.; BERRY, W.L.; KAPLAN, I.R.; WATTERSON, J.R. (Eds.). **Mineral exploration: biological systems and organic matter, rubey**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1986. v.5.
- BOARETO, A.E.; MURUAKA, T.; NAKAGAWA, J.; CHITOLINA, J.C. Níquel e cádmio em grãos de feijão produzidos em solos adubados com lodo de esgoto. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 20., Piracicaba, 1992. Adubação, produtividade, ecologia: **Anais....** Piracicaba: SBCS, 1992. p.400-401.
- BRAGA, J.M. e DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extrato de solo e material vegetal. **Rev. Ceres**, UFV, v.21, n.113, p.73-85, 1974.
- BRUNE, A.; URBACH, W.; DIETZ, K.J. Compartmentation and transport of zinc in barley primary leaves as basic mechanisms involved in zinc tolerance. **Plant Cell Environ.**, v.17, p.153-162, 1994.
- CAMARGO, O.A.; ROVERS, H.; VALDARES, J.M.A.S. Adsorção de níquel em latossolos paulistas. **R. Bras Ci. Solo**, v.13, p.125-129, 1989.

- CAMPOS, M.L.; PIERANGELI, M.A.P.; GUILHERME, L.R.G.; MARQUES, J.J.G.S.M.; CURI, N. Baseline concentration of heavy metals in Brazilian Latosols. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, New York, v.34, p.547-557, 2003.
- CANCELA, R.C.; FREIRE, A.R.; ABREU, C.A.; GONZALES, A.P. Eficacia de cuatro extractantes en la evaluacion de la disponibilidad de cobre para maiz y soya. **Bragantia**, Campinas, v.60, n.3, p.205-212, 2001.
- CASARINI, D.C.P. et al. **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo**. São Paulo : CETESB, 2001. 73 p. (Série Relatórios Ambientais)
- CATALDO, D.A.; GARLAND, T.R.; WILDUNG, R.E. Cadmium uptake kinetics in intact soybean plants. **Plant Physiol.**, v.73, p.844-848, 1983.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª Aproximação**. Viçosa, 1999. 359p.
- CRUZ, M.C.P. e FERREIRA, M.E. Seleção de métodos para avaliação do cobre disponível nos solos. **Pesq. Agropec. Bras.** v.25, n.4, p.647-659, 1990.
- CUTLER, J.M. e RAINS, D.W. Characterization of cadmium uptake by plant tissue. **Plant Physiol.** v.54, p.67-71, 1974.
- DEFELIPO, B.V. e RIBEIRO, A.C. **Análise química do solo: metodologia**. Viçosa, MG: UFV, 1981. 71p. (Boletim de Extensão, 29).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos - EMBRAPA - CNPS. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- GALRÃO, E.Z. e SOUSA, D.M.G. Resposta do trigo à aplicação de cobre em um solo orgânico. **R. Bras. Ci. Solo**, v.9, p.149-153, 1985.
- GALRÃO, E.Z. Resposta do trigo à aplicação de cobre em um solo orgânico de várzea. **R. Bras. Ci. Solo**, v.12, p.275-279, 1988.
- GODBOLD, D.L.; HORST, W.J.; COLLINS, J.C.; THURMAN, D.A.; MARSCHNER, H. Accumulation of zinc and organic acids in roots of zinc tolerant and non-tolerant ecotypes of *Deschampsia caespitosa*. **J. Plant Physiol.** v.116, p.59-69, 1984.
- GOMES, P.C. **Fracionamento e biodisponibilidade de metais pesados influenciados por calagem e concentrações de metais em latossolo vermelho-amarelo**. Viçosa: UFV, 1996, 161p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa.
- GOMES, P.C.; FONTES, M.P.F.; COSTA, L.M.; MENDONÇA, E.S. Extração fracionada de metais pesados em Latossolo Vermelho-Amarelo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.21, n.4, p.543-551, 1997.
- GUO, Y.T. e MARSCHNER, H. Uptake, distribution, and binding of cadmium and nickel in different plant species. **J. Plant Nutr.**, v.18, n.12, p.2691-2706, 1995.
- GUPTA, U.M. Micronutrientes e elementos tóxicos em plantas e animais. In: **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Ed. FERREIRA, M.E. et al. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p.13-41.

- GUSSARSON, M.; ADALSTEINSSON, S.; JENSÉN, P.; ASP, H. Cadmium and copper interactions on the accumulation and distribution of Cd and Cu in birch (*Betula pendula* Roth) seedlings. **Plant and Soil**, v.171, p.185-187, 1995.
- HAMON, R.; WUNDKE, J.; McLAUGHLIN, M.; NAIDU, R. Availability of zinc and cadmium to different plant species. **Aust. J. Soil Res.** v.35, p.1267-1277, 1997.
- HERVAS ARTEAGA, D. **Dinâmica de cádmio, cobre, chumbo, níquel e zinco no sistema solo-planta**. Viçosa: UFV, 1996. 90p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 3 ed. Boca Raton, Flórida, CRC Press, 2001. 331p.
- KER, J.C. **Mineralogia, sorção e dessorção de fosfato, magnetização e elementos traços em Latossolos do Brasil**. Viçosa: UFV, 1995. 181p. (Thesis PhD)
- KHAN, S. e KHAN, N.N. Influence of lead and cadmium on the growth and nutrient concentration of tomato (*Lycopersicum esculentum*) and egg-plant (*Solanum melongena*). **Plant and Soil**, v.74, p.387-394, 1983.
- KIEKENS, L. Lead. In: ALLOWAY, B.J. **Heavy metals in soils**. New York: John Wiley, 1990. p.261-279.
- KIM, S.J.; CHANG, A.C.; PAGE, A.L.; WARNEKE, J.E. Relative concentrations of cadmium and zinc in tissue of selected food plants grown on sludge-treated soils. **J. Environ. Qual.** v.17, n.4, p.568-573, 1988.
- KOCHIAN, L.V. Mechanism of micronutrient uptake and translocation in plants. In: MORTVEDT, J.J. et al. **Micronutrients in agriculture**. 2. ed. Madinson, Winsconsin: Soil Sci. Soc. Am., 1991, p.229-296.
- KRÄMER, U.; PICKERING, I.J.; PRINCE, R.C.; RASKIN, I.; SALT, D.E. Subcellular localization and speciation of nickel in hyperaccumulator and non-accumulator *Thlaspi species*. **Plant Physiol.**, v.122, p.1343-1353, 2000.
- LASAT, M.M. Phytoextraction of toxic metals: a review of biological mechanisms. **J. Environ. Qual.** v.31, p.109-120, 2002.
- MACNICOL, R.D. e BECKETT, P.H.T. Critical tissue concentrations of potentially toxic elements. **Plant and Soil**, v.85, p.107-129, 1985.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 252p.
- MANTOVANI, J.R.; CRUZ, M.C.P.; FERREIRA, M.E.; ALVES, W.L. Extratores para avaliação da disponibilidade de metais pesados em solos adubados com vermicomposto de lixo urbano. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.39, n.4, p.371-378, 2004.
- MARQUES, J.J.G.S.M.; CURI, N. e SCHULZE, D.G. Trace elements in Cerrado soils. In: ALVAREZ V., V.H; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M. **Tópicos em ciência do solo**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002, v.2, p.103-142.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. New York: Academic Press, 1995. 889p.

- MARSOLA, T.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. Acumulação de cobre e zinco em tecidos do feijoeiro em relação com o extraído do solo. **R. Bras. Eng. Agr. Amb.**, v.9, n.1, p.92-98, 2005.
- MARTINS, A.L.C.; BATAGLIA, O.C.; CAMARGO, O.A. Copper, nickel and zinc phytoavailability in an oxisol amended with sewage sludge and liming. **Sci. Agric.**, v.60, n.4, p.747-754, 2003.
- McBRIDE, M.; SAUVÉ, S.; HENDERSHOT, W. Solubility control of Cu, Zn, Cd and Pb in contaminated soils. **European J. Soil Sci.** v.48, p.337-346, 1997.
- McGRATH, S.P. Chromium and nickel. In: ALLOWAY, B.J. **Heavy metals in soils**. New York: John Wiley, 1990. p.152-178.
- McLAREN, R.G. e CRAWFORD, D.V. Studies on soil copper II. The specific adsorption of copper by soils. **J. Soil Sci.**, v.24, n.4, p.443-452, 1973.
- MEHLICH, A. Melich 3 soil test extractant: a modification of Mehlich 2 extractant. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, v.15, n.12, p.1409-1416, 1984.
- MENEZES, A.A. **Disponibilidade de zinco, para milho, pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA**. Viçosa: UFV, 52p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.
- MULCHI, C.L.; ADAMU, C.A.; BELL, P.F. e CHANEY, R.L. Residual heavy metal concentrations in sludge-amended Coastal Plain soils: 1. Comparison of extractants. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, v.22, n.9/10, p.919-941, 1991.
- NASCIMENTO, C.W.A. **Dessorção, extração e fracionamento de zinco, cobre e manganês em solos**. Viçosa: UFV, 2001, 60p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa.
- NASCIMENTO, C.W.A.; FONTES, R.L.F.; MELICIO, A.C.F.D. Copper availability as related to soil copper fractions in oxisols under liming. **Sci. Agric.** v.60, n.1, p.167-173, 2003.
- OLIVEIRA, R.C. **Avaliação do movimento de cádmio, chumbo e zinco em solo tratado com resíduo-calcário**. Lavras: UFLA, 2002. 94p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras.
- PAGE, A.L.; BINGHAM, F.T.; NELSON, C. Cadmium absorption and growth of various plant species as influenced by solution cadmium concentration. **J. Environ. Qual.** v.1, p.288-291, 1972.
- PAIS, I e JONES Jr, J.B. **The handbook of trace elements**. CRC Press, Boca Raton, Flórida, 2000. 223p.
- PAOLIELLO, M.M.B. e CHASIN, A.A.M. **Ecotoxicologia do chumbo e seus derivados**. Salvador: CRA, 2001. 144p. (Cadernos de referência ambiental, v.3)
- PEREIRA, J.M.N. **Absorção e distribuição de cádmio e zinco em plantas de alface e cenoura**. Viçosa: UFV, 2001. 71p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.
- PRASAD, M.N.V. Inhibition of maize leaf chlorophyllis, carotenoids and gas exchange functions by cadmium. **Photosynthetica**. v.31, n.4, p.635-640, 1995.

ROOT, A.R.; MILLER, R.J.; KOEPPE, D.E. Uptake of cadmium – its toxicity, and effect on the iron ratio in hidroponically grown corn. **J. Environ. Qual.**, v.4, p.473-476, 1975.

RUANO, A.; POSCHENRIEDER, Ch.; BARCELÓ, J. Growth and biomass partitioning in zinc-toxic bush beans. **J. Plant Nutr.**, v.11, n.5, p.577-588, 1988.

SALT, D.E. e RAUSER, W.E. MgATP-dependent transport of phytochelatins across the tonoplast of oat roots. **Plant Physiol.**, v.107, p.1293-1301, 1995.

SALT, D.E.; PRINCE, R.C.; PICKERING, I.J.; RASKIN, I. Mechanisms of cadmium mobility and accumulation in Indian mustard. **Plant Physiol.**, v.109, p.1427-1433, 1995.

SALVIANO, A.M. **Absorção, distribuição e toxicidade de cádmio em variedades de fumo (*Nicotiana tabacum* L.)**. Viçosa: UFV, 1999, 91p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.

SANTOS NETO, J.A. **Taxas de recuperação de zinco, cobre e boro por diferentes extratores em solos da Bahia e de Minas Gerais**. Viçosa: UFV, 2003, 51p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.

SANTOS, G.C. **Sorção e labilidade de metais pesados em latossolos de Minas Gerais**. Viçosa: UFV, 2001. 75p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.

SAUERBECK, D.R. e HEIN, A. The nickel uptake from different soils and its prediction by chemical extractions. **Water, Air Soil Poll.**, v.57, p.861-871, 1991.

SMILDE, K.W. Heavy-metal accumulation in crops grown on sewage sludge amended with metal salts. **Plant and Soil**, v.62, p.3-14, 1981.

SOARES, C.R.F.S.; ACCIOLY, A.M.A.; MARQUES, T.C.L.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. **R. Bras. Fisiol. Veg.**, v.13, n.3, p.302-315, 2001.

THUNG, M.D.T. e OLIVEIRA, I.P. **Problemas abióticos que afetam a produção do feijoeiro e seus métodos de controle**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA-CNPAP, 1998. 172p.

TRANI, P.E. e RAIJ, B. Van. Hortaliças. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. e FURLANI, A.M., eds. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas, Instituto Agronômico e Fundação IAC, 1996, p.157-185. (Boletim Técnico, 100)

Van ASSCHE, F.; CARDINALES, C.; CLIJSTERS, H. Induction of enzyme capacity in plants as a result of heavy metal toxicity: dose-response relations in *Phaseolus vulgaris* L., treated with zinc and cadmium. **Environ. Poll.**, v.52, p.103-115, 1988.

VERKLEIJ, J.A.C. e SCHAT, H. Mechanisms of metal tolerance in higher plants. In: SHAW, A.J. (Ed.) **Heavy metal tolerance in plants: evolutionary aspects**. Boca Raton: CRC Press, 1990. p.195-215.

WALLACE, G.A. e WALLACE, A. Lead and other potentially toxic heavy metals in soil. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, v.25, n.1-2, p.137-141, 1994.

WALSH, L.M.; ERHARDT, W.H.; SEIBEL, H.D. Copper toxicity in snapbeans (*Phaseolus vulgaris* L.). **J. Environ. Qual.**, v.1, n.2, p.197-200, 1972.

WANG, P.; QU, E.; LI, Z.; SHUMAN, L.M. Fractions and availability of nickel in loessial soil amended with sewage sludge. **J. Environ. Qual.**, v.26, p.795-801, 1997.

WEBER, O.L.S.; CHITOLINA, J.C.; CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. Cargas elétricas estruturais e variáveis de solos tropicais altamente intemperizados. **R. Bras. Ci. Solo**, v.29, p.867-873, 2005.

WHITE, M.C.; DECKER, A.M.; CHANEY, R.L. Differential cultivar tolerance in soybean to phytotoxic levels of soil Zn. I. Range of cultivar response. **Agron. J.**, v.71, p.121-126, 1979.

WONG, M.K.; CHUAH G.K.; KOH, L.L.; ANG, K.P.; HEW, C.S. The uptake of cadmium by *Brassica chinensis* and its effect on plant zinc and iron distribution. **Environ. Exper. Bot.**, Oxford, v.24, n.2, p.189-195, 1984.

## **7. APÊNDICE**

Quadro 1 – Análise de Variância para teores dos metais Cd, Pb, Cu, Zn, Ni e produção de matéria seca da parte aérea de plantas de alface, cultivadas em amostras dos solos LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub> em função da aplicação de doses<sup>1</sup> de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni

F.V.	G.L.	Quadrado Médio					
		Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	MS
Bloco	2	12,29	209,07	105,50	3555,32	20,17	15,7028
Solo	2	14,6.10 <sup>3</sup>	19,28.10 <sup>3</sup>	965,64	5,98.10 <sup>6</sup>	7749,98	89,7481
DCd <sup>2</sup> d/ LVA <sub>TG</sub>	5	6599,51**	0,0487	5,26	4326,78	0,71	0,4524
DCd d/ LVA <sub>TM</sub>	5	20,7.10 <sup>3**</sup>	0,0964	3,24	28,77.10 <sup>3</sup>	10,08	0,3514
DCd d/ LVA <sub>JP</sub>	5	50,8.10 <sup>3**</sup>	2,29.10 <sup>6**</sup>	3,01	51,23.10 <sup>3</sup>	3,87	0,8592
DPb <sup>3</sup> d/ LVA <sub>TG</sub>	5	0,0338	30,6577	2,85	2568,68	1,82	2,5679°
DPb d/ LVA <sub>TM</sub>	5	0,0020	5040,56**	16,99**	11,86.10 <sup>3</sup>	30,81	0,6580
DPb d/ LVA <sub>JP</sub>	5	0,1597	0,15.10 <sup>6**</sup>	7,18	13,59.10 <sup>3</sup>	26,20	0,6809
DCu <sup>4</sup> d/ LVA <sub>TG</sub>	5	0,2162	0,0289	41,45**	8209,55	1,53	0,5155
DCu d/ LVA <sub>TM</sub>	5	0,5299	1,1332	49,11**	1909,68	22,31	2,1031°
DCu d/ LVA <sub>JP</sub>	5	1,1312	0,0247	208,99**	9890,63	6,50	5,9998**
DZn <sup>5</sup> d/ LVA <sub>TG</sub>	5	0,0074	0,0665	12,44	0,86.10 <sup>6**</sup>	2,13	1,3363
DZn d/ LVA <sub>TM</sub>	5	0,0057	3,4149	1,51	1,49.10 <sup>6**</sup>	30,57	0,6414
DZn d/ LVA <sub>JP</sub>	5	0,1719	9,2581	9,72	4,41.10 <sup>6*</sup>	9,34	0,3549
DNi <sup>6</sup> d/ LVA <sub>TG</sub>	5	0,0006	0,0952	9,93	3867,49	899,17**	0,5487
DNi d/ LVA <sub>TM</sub>	5	0,0010	0,0489	8,59	68,32.10 <sup>3</sup>	22,66.10 <sup>3**</sup>	2,4305°
DNi d/ LVA <sub>JP</sub>	5	0,0275	0,5803	18,20**	0,11.10 <sup>6*</sup>	12,89.10 <sup>3**</sup>	0,6213
Residuo	154	223,72	295,50	5,26	43,23.10 <sup>3</sup>	96,74	0,7470
C.V. (%)		57,71	119,08	29,69	37,03	63,35	31,67

<sup>1</sup> Doses dos metais aplicadas nas amostras dos solos Cd = 0, 1, 2, 4, 8 e 16; Pb = 0, 23, 46, 92, 184 e 368; Cu = 0, 8, 16, 32, 64 e 128; Zn = 0, 23, 46, 92, 184 e 368; Ni = 0, 4, 8, 16, 32, 64 mgdm<sup>3</sup>.

DCd<sup>2</sup> = doses de Cd para Pb0, Cu8, Zn23 e Ni4; DPb<sup>3</sup> = doses de Pb para Cd0, Cu8, Zn23 e Ni4; DCu<sup>4</sup> = doses de Cu para Cd0, Pb0, Zn23 e Ni4; DZn<sup>5</sup> = doses de Zn para Cd0, Pb0, Cu8 e Ni4 e DNi<sup>6</sup> = doses de Ni para Cd0, Pb0, Cu8 e Zn23

°, \*, \*\* Significativo a 10, 5 e 1% de probabilidade.

Quadro 2 – Desdobramento, por meio de contraste, da Análise de Variância para produção de matéria seca da parte aérea de plantas de alfaca

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio
Bloco	2	15,7028
Solos	2	89,7481**
CS <sub>1</sub> = LVA <sub>TG</sub> vs LVA <sub>TM</sub> + LVA <sub>JP</sub>	1	115,4631**
CS <sub>2</sub> = LVA <sub>JP</sub> vs LVA <sub>TM</sub>	1	64,0300**
Cm <sub>1</sub> = Cd + Pb vs Cu +Zn + Ni d/ LVA <sub>TG</sub>	1	2,1069
Cm <sub>1</sub> = Cd + Pb vs Cu +Zn + Ni d/ LVA <sub>TM</sub>	1	0,9475
Cm <sub>1</sub> = Cd + Pb vs Cu +Zn + Ni d/ LVA <sub>JP</sub>	1	0,4335
Cm <sub>2</sub> = Cd vs Pb d/ LVA <sub>TG</sub>	1	0,9702
Cm <sub>2</sub> = Cd vs Pb d/ LVA <sub>TM</sub>	1	0,1067
Cm <sub>2</sub> = Cd vs Pb d/ LVA <sub>JP</sub>	1	0,7396
Cm <sub>3</sub> = Cu +Zn vs Ni d/ LVA <sub>TG</sub>	1	2,9370°
Cm <sub>3</sub> = Cu +Zn vs Ni d/ LVA <sub>TM</sub>	1	5,8800**
Cm <sub>3</sub> = Cu +Zn vs Ni d/ LVA <sub>JP</sub>	1	0,2730
Cm <sub>4</sub> = Cu vs Zn d/ LVA <sub>TG</sub>	1	2,7060°
Cm <sub>4</sub> = Cu vs Zn d/ LVA <sub>TM</sub>	1	6,9344**
Cm <sub>4</sub> = Cu vs Zn d/ LVA <sub>JP</sub>	1	1,2210
Resíduo	154	0,7470
CV (%)		31,67

°, \*, \*\* Significativo a 10, 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Quadro 3 – Análise de Variância para teores dos metais Cd, Pb, Cu, Zn e Ni nas raízes e caule de plantas de feijão em função da aplicação de doses<sup>1</sup> de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni nas amostras dos solos LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>

	F.V.	G.L.	Quadrado Médio									
			Raízes					Caule				
			Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni
Bloco	2		340,78	0,25.10 <sup>6</sup>	3959,37	69,07.10 <sup>3</sup>	1170,52	64,60	2,18	11,0889	23,39	62,63
Solo	2		23,4.10 <sup>3</sup>	9,13.10 <sup>6</sup>	13,98.10 <sup>3</sup>	3,43.10 <sup>6</sup>	61,24.10 <sup>3</sup>	4618,05	1067,68	32,6412	0,20.10 <sup>6</sup>	4911,89
DCd <sup>2</sup> d/ LVA <sub>TG</sub>	5		41,5.10 <sup>3**</sup>	14,53	48,84	4957,32	24,06	2781,06**	0,37	0,1382	381,37	1,17
DCd d/ LVA <sub>TM</sub>	5		0,25.10 <sup>6**</sup>	213,40	298,60	19,89.10 <sup>3</sup>	386,07	21,84.10 <sup>3**</sup>	9,07	1,3980	763,82	17,50
DCd d/ LVA <sub>JP</sub>	5		0,11.10 <sup>6**</sup>	178,62	579,92	28,00.10 <sup>3</sup>	164,17	29,09.10 <sup>3**</sup>	0,03	7,1952**	2725,36	32,11
DPb <sup>3</sup> d/ LVA <sub>TG</sub>	5		nd	2,62.10 <sup>6**</sup>	59,47	1261,11	6,44	0,16	5342,76**	0,1462	375,37	1,19
DPb d/ LVA <sub>TM</sub>	5		nd	0,87.10 <sup>8**</sup>	51,07	21,19.10 <sup>3</sup>	249,60	0,04	38,51.10 <sup>3**</sup>	0,4083	3178,47	17,85
DPb d/ LVA <sub>JP</sub>	5		nd	0,27.10 <sup>8**</sup>	71,36	4294,09	40,13	0,09	10,17.10 <sup>3**</sup>	6,6426**	732,99	21,08
DCu <sup>4</sup> d/ LVA <sub>TG</sub>	5		nd	8,88	4940,13**	2508,49	10,15	0,10	2,04	0,9862	218,17	1,12
DCu d/ LVA <sub>TM</sub>	5		nd	6,18	53,97.10 <sup>3*</sup>	14,79.10 <sup>3</sup>	286,51	1,17	12,96	16,6955**	381,11	10,95
Dcu d/ LVA <sub>JP</sub>	5		nd	350,13	45,75.10 <sup>3*</sup>	6391,35	29,09	0,07	0,19	6,0611**	617,65	23,09
DZn <sup>5</sup> d/ LVA <sub>TG</sub>	5		nd	23,33	12,78	1,18.10 <sup>6*</sup>	10,52	0,06	34,12	1,1126	0,45.10 <sup>6**</sup>	1,30
DZn d/ LVA <sub>TM</sub>	5		nd	24,66	113,84	5,80.10 <sup>6*</sup>	355,12	0,03	12,75	1,7112	0,77.10 <sup>6**</sup>	13,83
DZn d/ LVA <sub>JP</sub>	5		nd	392,18	307,90	2,10.10 <sup>6*</sup>	72,89	0,20	0,15	0,7094	0,53.10 <sup>6**</sup>	104,18**
DNi <sup>6</sup> d/ LVA <sub>TG</sub>	5		nd	16,51	33,45	2426,73	23,33.10 <sup>3**</sup>	0,04	24,68	2,2378	441,10	389,39**
DNi d/ LVA <sub>TM</sub>	5		nd	39,56	45,21	102,91.10 <sup>3</sup>	0,10.10 <sup>6**</sup>	0,04	18,12	0,0279	2330,28	2000,91**
DNi d/ LVA <sub>JP</sub>	5		nd	448,44	425,51	47,41.10 <sup>3</sup>	38,15.10 <sup>3**</sup>	0,09	1,68	1,6055	9268,06	926,93**
Residuo	154		644,42	0,28.10 <sup>6</sup>	593,72	57,58.10 <sup>3</sup>	486,73	361,59	72,19	1,7852	13,72.10 <sup>3</sup>	15,91
C.V. (%)			63,04	86,26	60,20	47,84	39,94	121,17	47,06	68,42	73,11	31,74

<sup>1</sup> Doses dos metais aplicadas nas amostras dos solos Cd = 0, 1, 2, 4, 8 e 16; Pb = 0, 23, 46, 92, 184 e 368; Cu = 0, 8, 16, 32, 64 e 128; Zn = 0, 23, 46, 92, 184 e 368; Ni = 0, 4, 8; 16, 32, 64 mgdm<sup>3</sup>.

DCd<sup>2</sup> = doses de Cd para Pb0, Cu8, Zn23 e Ni4 ; DPb<sup>3</sup> = doses de Pb para Cd0, Cu8, Zn23 e Ni4 ; DCu<sup>4</sup> = doses de Cu para Cd0, Pb0, Zn23 e Ni4; DZn<sup>5</sup> = doses de Zn para Cd0, Pb0, Cu8 e Ni4 e DNi<sup>6</sup> = doses de Ni para Cd0, Pb0, Cu8 e Zn23

\*, \*\* Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

nd: não detectado

Quadro 4– Análise de Variância para teores dos metais Cd, Pb, Cu, Zn e Ni nas folhas e grãos de plantas de feijão em função da aplicação de doses<sup>1</sup> de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni nas amostras dos solos LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>

F.V.	G.L.	Quadrado Médio									
		Folhas					Grãos				
		Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni
Bloco	2	0,9003	0,0196	0,4313	2249,67	73,27	0,0247	369,42	56,66	135,07	2001,11
Solo	2	9,3322	6,3524	48,2274	13,23.10 <sup>3</sup>	3416,18	3,9463	68,18.10 <sup>3</sup>	146,50	4046,61	47,34.10 <sup>3</sup>
DCd <sup>2</sup> d/ LVA <sub>TG</sub>	5	5,2193**	0,1040	nd	627,85	0,68	50,1657**	6,16	1,09	123,05	18,48
DCd d/ LVA <sub>TM</sub>	5	44,8159**	0,0586	nd	1300,17	19,40	41,7328**	1558,68	14,65**	155,23	715,54**
DCd d/ LVA <sub>JP</sub>	5	52,7820**	0,0674	0,0903	2717,43	32,65	80,8767**	806,28	8,07*	31,76	703,38**
DPb <sup>3</sup> d/ LVA <sub>TG</sub>	5	0,0001	59,0032**	nd	327,15	1,29	nd	5,67 <sup>ns</sup>	0,78	53,24	21,89
DPb d/ LVA <sub>TM</sub>	5	0,54.10 <sup>-4</sup>	79,0853**	0,4840	629,87	14,47	nd	604,48	2,44	41,28	26,52
DPb d/ LVA <sub>JP</sub>	5	nd	24,5439**	0,0247	535,18	4,65	nd	197,95	10,51*	42,94	96,68
DCu <sup>4</sup> d/ LVA <sub>TG</sub>	5	0,0005	0,1435	5,8792**	161,56	0,43	nd	7,43	10,85**	49,34	9,08
DCu d/ LVA <sub>TM</sub>	5	0,0049	0,1031	50,2218**	845,14	17,74	nd	1620,71	59,42**	16,02	346,47
Dcu d/ LVA <sub>JP</sub>	5	nd	0,2700	65,4953**	350,49	18,14	nd	577,85	25,31**	14,93	608,13
DZn <sup>5</sup> d/ LVA <sub>TG</sub>	5	0,0015	0,0080	nd	0,54.10 <sup>6**</sup>	0,36	nd	6,76	3,70	1708,68**	63,04
DZn d/ LVA <sub>TM</sub>	5	0,72.10 <sup>-4</sup>	0,2221	0,5243	0,43.10 <sup>6**</sup>	17,27	nd	1624,94	11,45**	2276,39**	1542,47**
DZn d/ LVA <sub>JP</sub>	5	nd	0,2836	0,1924	0,25.10 <sup>6**</sup>	21,12	nd	517,64	31,07**	1775,36**	2747,37**
DNi <sup>6</sup> d/ LVA <sub>TG</sub>	5	0,0003	0,0132	nd	461,63	44,62 <sup>ns</sup>	nd	5,58	2,40	412,35**	2350,92*
DNi d/ LVA <sub>TM</sub>	5	0,0002	0,2981	0,1239	1920,12	1644,10**	nd	1212,69	3,84	321,26**	8471,96**
DNi d/ LVA <sub>JP</sub>	5	nd	0,1418	0,0420	4451,06	2866,15**	nd	578,73	11,69**	781,41**	9576,16**
Residuo	154	0,4194	0,5570	0,4556	1740,47	26,09	0,1044	183,73	3,41	89,11	223,01
C.V. (%)		79,81	56,58	62,93	32,66	51,86	36,88	41,87	36,12	18,54	37,26

<sup>1</sup> Doses dos metais aplicadas nas amostras dos solos Cd = 0, 1, 2, 4, 8 e 16; Pb = 0, 23, 46, 92, 184 e 368; Cu = 0, 8, 16, 32, 64 e 128; Zn = 0, 23, 46, 92, 184 e 368; Ni = 0, 4, 8; 16, 32, 64 mgdm<sup>3</sup>.

DCd<sup>2</sup> = doses de Cd para Pb0, Cu8, Zn23 e Ni4 ; DPb<sup>3</sup> = doses de Pb para Cd0, Cu8, Zn23 e Ni4 ; DCu<sup>4</sup> = doses de Cu para Cd0, Pb0, Zn23 e Ni4; DZn<sup>5</sup> = doses de Zn para Cd0, Pb0, Cu8 e Ni4 e DNi<sup>6</sup> = doses de Ni para Cd0, Pb0, Cu8 e Zn23

\*, \*\* Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

nd: não detectado

Quadro 5 – Análise de Variância para produção de matéria seca de raízes (MSRA), caules (MSCL), folhas (MSFL), vagens (MSVAG), número de vagens (NVAG) e peso médio de vagens (PMVAG) de plantas de feijão em função da aplicação de doses<sup>1</sup> de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni nas amostras dos solos LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>

	F.V.	G.L.	Quadrado Médio					
			MSRA	MSCL	MSFL	MSVAG	NVAG	PMVAG
Bloco	2		5,8410	0,5744	0,0579	13,6665	3,5766	0,7724
Solo	2		2,0086**	3,5245**	3,4222**	17,0691**	2,4338 <sup>o</sup>	2,4061**
DCd <sup>2</sup> d/ LVA <sub>TG</sub>	5		0,1299	0,0729	0,0694	0,3085	0,5805	0,0557
DCd d/ LVA <sub>TM</sub>	5		0,5517 <sup>o</sup>	0,1436	0,0919	1,4403	0,9222	0,0551
DCd d/ LVA <sub>JP</sub>	5		0,2608	0,1519	0,3103	2,0562 <sup>o</sup>	0,7805	0,1769
DPb <sup>3</sup> d/ LVA <sub>TG</sub>	5		0,0777	0,0471	0,0441	0,2955	0,4605	0,0227
DPb d/ LVA <sub>TM</sub>	5		0,0308	0,0797	0,0823	0,6155	1,3250	0,0252
DPb d/ LVA <sub>JP</sub>	5		0,2109	0,2037	0,2356	2,1681 <sup>o</sup>	0,7667	0,1759
DCu <sup>4</sup> d/ LVA <sub>TG</sub>	5		0,1552	0,1789	0,0396	0,3938	0,4917	0,0460
DCu d/ LVA <sub>TM</sub>	5		0,2675	0,0600	0,1091	0,2816	0,7222	0,0488
DCu d/ LVA <sub>JP</sub>	5		0,1330	0,1814	0,3543	2,8264*	0,2667	0,1899 <sup>o</sup>
DZn <sup>5</sup> d/ LVA <sub>TG</sub>	5		0,6193 <sup>o</sup>	0,2222	0,0701	1,1364	0,3889	0,0829
DZn d/ LVA <sub>TM</sub>	5		0,6819 <sup>o</sup>	0,1452	0,2166	1,9946 <sup>o</sup>	2,9889 <sup>o</sup>	0,0545
DZn d/ LVA <sub>JP</sub>	5		0,9548*	0,1056	0,1965	2,2797	1,9250	0,1639
DNi <sup>6</sup> d/ LVA <sub>TG</sub>	5		0,0821	0,1023	0,0867	0,2537	0,7472	0,122
DNi d/ LVA <sub>TM</sub>	5		0,1775	0,0330	0,0438	1,4525	4,9139*	0,1910 <sup>o</sup>
DNi d/ LVA <sub>JP</sub>	5		0,2989	0,0365	0,0809	2,4725*	5,1201*	0,3285*
Residuo	154		0,1826	0,0854	0,1271	0,5846	0,8488	0,0691
C.V. (%)			26,11	27,42	25,95	27,81	27,94	29,63

<sup>1</sup> Doses dos metais aplicadas nas amostras dos solos Cd = 0, 1, 2, 4, 8 e 16; Pb = 0, 23, 46, 92, 184 e 368; Cu = 0, 8, 16, 32, 64 e 128; Zn = 0, 23, 46, 92, 184 e 368; Ni = 0, 4, 8; 16, 32, 64 mgdm<sup>3</sup>.

DCd<sup>2</sup> = doses de Cd para Pb0, Cu8, Zn23 e Ni4 ; DPb<sup>3</sup> = doses de Pb para Cd0, Cu8, Zn23 e Ni4 ; DCu<sup>4</sup> = doses de Cu para Cd0, Pb0, Zn23 e Ni4; DZn<sup>5</sup> = doses de Zn para Cd0, Pb0, Cu8 e Ni4 e DNi<sup>6</sup> = doses de Ni para Cd0, Pb0, Cu8 e Zn23

<sup>o</sup>, \*, \*\* Significativo a 10, 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Quadro 6 – Desdobramento, por meio de contraste, da análise de variância para produção de matéria seca de raízes (MSRA), caules (MSCL), folhas (MSFL), vagens (MSVAG); número de vagens (NVAG) e peso médio de vagens (PMVAG) de plantas de feijão em função da aplicação de doses<sup>1</sup> de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni nas amostras dos solos LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>

	F.V.	G.L.	Quadrado Médio					
			MSRA	MSCL	MSFL	MSVAG	NVAG	PMVAG
Bloco		2	5,8410	0,5744	0,0579	13,6665	3,5766	0,7724
Solo		2	2,0086	3,5245	3,4222	17,0691	2,4338	2,4061
Cs <sub>1</sub> = LVA <sub>TG</sub> vs LVA <sub>TM</sub> + LVA <sub>JP</sub>		1	4,0386**	7,0132**	6,7156**	34,1400**	3,6589*	4,7865**
Cs <sub>2</sub> = JP vs LVA <sub>TM</sub>		1	0,0125	0,0364	0,1280	0,0027	1,2087	0,0254
Cm <sub>1</sub> = Cd + Pb vs Cu + Zn + Ni d/ LVA <sub>TG</sub>		1	0,0882	0,2277°	0,1376	0,2857	0,1778	0,1598
Cm <sub>1</sub> = Cd + Pb vs Cu + Zn + Ni d/ LVA <sub>TM</sub>		1	0,0856	0,0007	0,2496	5,8489**	0,2449	0,0595
Cm <sub>1</sub> = Cd + Pb vs Cu + Zn + Ni d/ LVA <sub>JP</sub>		1	0,0202	0,1530	0,0001	1,9681°	0,6685	0,2265°
Cm <sub>2</sub> = Cd vs Pb d/ LVA <sub>TG</sub>	86	1	0,2669	0,0097	0,1521	0,3098	0,3600	0,1284
Cm <sub>2</sub> = Cd vs Pb d/ LVA <sub>TM</sub>		1	0,1878	0,0225	0,0600	0,0025	0,1736	0,0017
Cm <sub>2</sub> = Cd vs Pb d/ LVA <sub>JP</sub>		1	0,2669	0,4647*	1,4480**	2,7335*	0,0069	0,2209°
Cm <sub>3</sub> = Cu + Zn vs Ni d/ LVA <sub>TG</sub>		1	0,5208°	0,0856	0,0131	0,2160	0,2801	0,0065
Cm <sub>3</sub> = Cu + Zn vs Ni d/ LVA <sub>TM</sub>		1	0,4281	0,1020	0,1083	0,1415	17,9259**	0,4485**
Cm <sub>3</sub> = Cu + Zn vs Ni d/ LVA <sub>JP</sub>		1	0,5208°	0,0192	0,0736	3,0234*	8,8981**	0,9992**
Cm <sub>4</sub> = Cu vs Zn d/ LVA <sub>TG</sub>		1	0,2669	0,0693	0,1381	1,1201	0,3403	0,0169
Cm <sub>4</sub> = Cu vs Zn d/ LVA <sub>TM</sub>		1	2,8900**	0,3099*	0,3927°	0,0051	0,2500	0,0215
Cm <sub>4</sub> = Cu vs Zn d/ LVA <sub>JP</sub>		1	0,7225*	0,0608	0,1495	2,9641*	0,5625	0,0046
Resíduo		154	0,1826	0,0854	0,1271	0,5846	0,8488	0,0691
C.V. (%)			26,11	27,42	25,95	27,81	27,94	29,63

<sup>1</sup> Doses dos metais aplicadas nas amostras dos solos Cd = 0, 1, 2, 4, 8 e 16; Pb = 0, 23, 46, 92, 184 e 368; Cu = 0, 8, 16, 32, 64 e 128; Zn = 0, 23, 46, 92, 184 e 368; Ni = 0, 4, 8; 16, 32, 64 mgdm<sup>3</sup>.

°, \*, \*\* Significativo a 10, 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Quadro 7 – Análise de Variância para teores dos metais Cd, Pb, Cu, Zn, Ni em amostras dos solos LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub> em função da aplicação de doses<sup>1</sup> de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni após o cultivo de plantas de alface e feijão

		Alface				
F.V.	G.L.	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni
		Quadrado Médio				
Bloco	2	16,54	197,39	15,1029	452,74	1,2556
Solo	2	20,64	16574,37	13,0953	2973,48	28,8720
DCd <sup>2</sup> d/ LVA <sub>TG</sub>	5	2577,03**	0,0558	0,5008	7,13	0,0316
DCd d/ LVA <sub>TM</sub>	5	1606,52**	0,0700	2,9711	32,95	0,1812
DCd d/ LVA <sub>JP</sub>	5	2404,32**	0,2082	4,6400	21,32	0,1204
DPb <sup>3</sup> d/ LVA <sub>TG</sub>	5	nd	1,319.10 <sup>6**</sup>	0,3814	4,64	0,0302
DPb d/ LVA <sub>TM</sub>	5	nd	0,737.10 <sup>6**</sup>	1,1605	19,18	0,1815
DPb d/ LVA <sub>JP</sub>	5	nd	1,029.10 <sup>6**</sup>	0,8996	4,75	0,0104
DCu <sup>4</sup> d/ LVA <sub>TG</sub>	5	nd	0,2157	4033,65**	12,21	0,0816
DCu d/ LVA <sub>TM</sub>	5	nd	0,1206	5662,28**	24,45	0,0801
DCu d/ LVA <sub>JP</sub>	5	nd	0,1622	2944,19**	21,25	0,0177
DZn <sup>5</sup> d/ LVA <sub>TG</sub>	5	nd	0,0866	0,7839	0,11.10 <sup>6**</sup>	0,0933
DZn d/ LVA <sub>TM</sub>	5	nd	0,0727	0,4266	54,87.10 <sup>3**</sup>	0,1858
DZn d/ LVA <sub>JP</sub>	5	nd	0,2843	1,8240	73,52.10 <sup>3**</sup>	0,2815
DNi <sup>6</sup> d/ LVA <sub>TG</sub>	5	nd	0,2114	0,3471	5,01	408,15**
DNi d/ LVA <sub>TM</sub>	5	nd	0,1158	0,5303	24,98	530,68**
DNi d/ LVA <sub>JP</sub>	5	nd	0,1030	1,1632	11,51	409,97**
Resíduo	154	5,08	2565,10	8,6785	92,00	0,6976
C.V. (%)		44,99	46,16	31,09	19,97	28,17
		Feijão				
F.V.	G.L.	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni
		Quadrado Médio				
Bloco	2	0,64	17146,03	94,03	69,68	2,93
Solo	2	20,16	7842,01	474,92	1524,18	99,29
DCd <sup>2</sup> d/ LVA <sub>TG</sub>	5	2966,14**	1,24	1,60	48,46	0,15
DCd d/ LVA <sub>TM</sub>	5	4311,87**	3,40.10 <sup>3</sup>	2,36	54,87	0,36
DCd d/ LVA <sub>JP</sub>	5	3332,99**	0,23	1,68	28,65	0,26
DPb <sup>3</sup> d/ LVA <sub>TG</sub>	5	nd	1,66.10 <sup>6**</sup>	2,45	112,61	0,46
DPb d/ LVA <sub>TM</sub>	5	nd	1,95.10 <sup>6**</sup>	2,68	112,99	0,49
DPb d/ LVA <sub>JP</sub>	5	nd	1,32.10 <sup>6**</sup>	2,08	51,21	0,31
DCu <sup>4</sup> d/ LVA <sub>TG</sub>	5	nd	0,91	2536,98**	103,64	0,58
DCu d/ LVA <sub>TM</sub>	5	nd	nd	6038,18**	62,85	0,13
DCu d/ LVA <sub>JP</sub>	5	nd	0,57	6513,66**	47,24	0,31
DZn <sup>5</sup> d/ LVA <sub>TG</sub>	5	nd	0,45	1,29	0,20.10 <sup>6**</sup>	0,59
DZn d/ LVA <sub>TM</sub>	5	nd	nd	3,26	0,16.10 <sup>6**</sup>	0,84
DZn d/ LVA <sub>JP</sub>	5	nd	0,25	1,96	0,20.10 <sup>6**</sup>	2,45
Dni <sup>6</sup> d/ LVA <sub>TG</sub>	5	nd	0,20	0,58	13,58	394,45**
DNi d/ LVA <sub>TM</sub>	5	nd	nd	3,10	78,84	1323,85**
DNi d/ LVA <sub>JP</sub>	5	nd	0,35	2,91	49,11	840,58**
Resíduo	154	10,52	7137,40	23,52	714,59	5,09
C.V. (%)		49,79	56,81	39,43	38,69	46,25

<sup>1</sup> Doses dos metais aplicadas nas amostras dos solos Cd = 0, 1, 2, 4, 8 e 16; Pb = 0, 23, 46, 92, 184 e 368; Cu = 0, 8, 16, 32, 64 e 128; Zn = 0, 23, 46, 92, 184 e 368; Ni = 0, 4, 8; 16, 32, 64 mgdm<sup>3</sup>.

DCd<sup>2</sup> = doses de Cd para Pb0, Cu8, Zn23 e Ni4 ; DPb<sup>3</sup> = doses de Pb para Cd0, Cu8, Zn23 e Ni4 ; DCu<sup>4</sup> = doses de Cu para Cd0, Pb0, Zn23 e Ni4; DZn<sup>5</sup> = doses de Zn para Cd0, Pb0, Cu8 e Ni4 e DNi<sup>6</sup> = doses de Ni para Cd0, Pb0, Cu8 e Zn23

\*\* Significativo a 1% de probabilidade.

nd: não detectado

Quadro 7 – Análise de Variância para teores dos metais Cd, Pb, Cu, Zn, Ni em amostras de latossolos em função da aplicação de doses<sup>1</sup> de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni após o cultivo de plantas de alface e feijão

		<b>Alface</b>				
		Cd	Pb	Cu	Zn	Ni
F.V.	G.L.	----- Quadrado Médio -----				
Bloco	2	16,54	197,39	15,1029	452,74	1,2556
Solo	2	20,64	16574,37	13,0953	2973,48	28,8720
DCd <sup>2</sup>	5	6432,28	0,0672	1,5614	12,1231	0,0658
DPb <sup>3</sup>	5	nd	3,03.10 <sup>6</sup>	1,2719	8,8022	0,0743
DCu <sup>4</sup>	5	nd	0,1801	12339,88	36,71	0,0634
DZn <sup>5</sup>	5	nd	0,1464	1,4542	0,24.10 <sup>6</sup>	0,4695
DNi <sup>6</sup>	5	nd	0,0928	0,8055	20,18	1341,85
Residuo	154	5,08	2565,10	8,6785	92,00	0,6976
C.V. (%)		44,99	46,16	31,09	19,97	28,17
		<b>Feijão</b>				
		Cd	Pb	Cu	Zn	Ni
F.V.	G.L.	----- Quadrado Médio -----				
Bloco	2	0,64	17146,03	94,03	69,68	2,93
Solo	2	20,16	7842,01	474,92	1524,18	99,29
DCd <sup>2</sup>	5	10493,61	0,4426	3,5399	55,1915	0,2907
DPb <sup>3</sup>	5	nd	4,82.10 <sup>6</sup>	0,5129	84,6563	0,2223
DCu <sup>4</sup>	5	nd	6,7864	13469,37	145,82	0,5903
DZn <sup>5</sup>	5	nd	0,2723	2,2283	0,56.10 <sup>6</sup>	2,9369
DNi <sup>6</sup>	5	nd	0,1082	3,6603	91,4157	2416,44
Residuo	154	10,52	7137,40	23,52	714,59	5,09
C.V. (%)		49,79	56,81	39,43	38,69	46,25

<sup>1</sup> Doses dos metais aplicadas nas amostras dos solos Cd = 0, 1, 2, 4, 8 e 16; Pb = 0, 23, 46, 92, 184 e 368; Cu = 0, 8, 16, 32, 64 e 128; Zn = 0, 23, 46, 92, 184 e 368; Ni = 0, 4, 8, 16, 32, 64 mgdm<sup>3</sup>.

DCd<sup>2</sup> = doses de Cd para Pb0, Cu8, Zn23 e Ni4 ; DPb<sup>3</sup> = doses de Pb para Cd0, Cu8, Zn23 e Ni4 ; DCu<sup>4</sup> = doses de Cu para Cd0, Pb0, Zn23 e Ni4; DZn<sup>5</sup> = doses de Zn para Cd0, Pb0, Cu8 e Ni4 e DNi<sup>6</sup> = doses de Ni para Cd0, Pb0, Cu8 e Zn23

\*\* Significativo a 1% de probabilidade.

nd: não detectado

Quadro 8 – Análise de Variância para conteúdo de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni na parte aérea de plantas de alface e nas folhas de plantas de feijão em função da aplicação de doses<sup>1</sup> de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni nas amostras dos solos LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>

F.V.	G.L.	Alface					Feijão				
		Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	Cd	Pb	Cu	Zn	NI
		----- Quadrado Médio -----									
Bloco	2	4554,29	5109,33	353,09	0,269.10 <sup>3</sup>	7056,85	0,8553	0,2207	1,1761	8230,94	69,2807
Solos	2	13,19.10 <sup>3</sup>	40,63.10 <sup>3</sup>	1362,91	2,583.10 <sup>6</sup>	67,02.10 <sup>3</sup>	5,0550	2,4015	90,928	1078,55	4394,42
DCd <sup>2</sup> d/ LVA <sub>TG</sub>	5	0,115.10 <sup>6**</sup>	1,3393	138,92	0,110.10 <sup>6</sup>	19,89	9,5239**	0,3127	nd	2209,28	2,4671
DCd d/ LVA <sub>TM</sub>	5	0,163.10 <sup>6**</sup>	0,8786	59,05	0,484.10 <sup>6</sup>	274,84	52,0834**	0,1528	nd	1654,74	25,73
DCd d/ LVA <sub>JP</sub>	5	0,169.10 <sup>6**</sup>	0,5854	76,80	0,514.10 <sup>6</sup>	116,59	29,7866**	0,1450	0,4174	4220,77	63,49
DPb <sup>3</sup> d/ LVA <sub>TG</sub>	5	0,2048	371,21	67,16	0,819.10 <sup>5</sup>	28,94	0,274.10 <sup>-3</sup>	169,08**	nd	1002,24	3,4718
DPb d/ LVA <sub>TM</sub>	5	0,0163	43,76.10 <sup>3**</sup>	158,85	0,166.10 <sup>6</sup>	490,29	7,024.10 <sup>-4</sup>	107,26**	0,4721	1356,42	9,6544
DPb d/ LVA <sub>JP</sub>	5	0,3071	420,33.10 <sup>3**</sup>	33,86	0,163.10 <sup>6</sup>	115,83	nd	71,16**	0,0935	1927,93	8,3043
DCu <sup>4</sup> d/ LVA <sub>TG</sub>	5	2,3741	0,4633	586,13**	0,121.10 <sup>6</sup>	41,43	0,0018	0,3564	17,63**	259,81	1,0418
DCu d/ LVA <sub>TM</sub>	5	3,0707	1,1228	395,93*	0,364.10 <sup>6</sup>	540,15	0,0112	0,2744	70,29**	2569,53	93,4742
DCu d/ LVA <sub>JP</sub>	5	5,1500	0,0488	765,75**	0,176.10 <sup>6</sup>	153,08	nd	0,9255	224,58**	1365,07	42,2227
DZn <sup>5</sup> d/ LVA <sub>TG</sub>	5	0,0646	1,5893	308,26*	2,968.10 <sup>6</sup>	32,97	0,657.10 <sup>-3</sup>	0,0149	nd	0,832.10 <sup>6**</sup>	1,5913
DZn d/ LVA <sub>TM</sub>	5	0,0221	0,1276	169,53	3,507.10 <sup>6</sup>	1137,79	0,0002	0,8685	0,4117	0,416.10 <sup>6**</sup>	61,9145
DZn d/ LVA <sub>JP</sub>	5	0,6547	5,8367	229,29 <sup>0</sup>	3,158.10 <sup>6</sup>	231,88	nd	0,1739	0,2011	0,203.10 <sup>6**</sup>	76,1674
DNI <sup>6</sup> d/ LVA <sub>TG</sub>	5	0,0098	2,2559	236,61 <sup>0</sup>	0,109.10 <sup>6</sup>	0,163.10 <sup>5**</sup>	0,746.10 <sup>-3</sup>	0,0077	nd	1705,41	93,0723
DNI d/ LVA <sub>TM</sub>	5	0,0047	0,5501	92,77	0,418.10 <sup>6</sup>	2,189.10 <sup>5**</sup>	0,28.10 <sup>-3</sup>	0,5933	0,2002	3410,29	2481,73**
DNI d/ LVA <sub>JP</sub>	5	0,0482	1,2971	98,64	0,825.10 <sup>6</sup>	0,313.10 <sup>5**</sup>	nd	0,2980	0,2101	5767,91	2980,24**
Residuo	154	3257,25	3493,34	67,19	0,275.10 <sup>6</sup>	1603,83	0,9670	1,3968	1,8022	8791,68	46,1662
C.V. (%)		88,48	216,48	43,46	46,34	98,27	110,31	62,56	90,68	58,86	55,58

<sup>1</sup> Doses dos metais aplicadas nas amostras dos solos Cd = 0, 1, 2, 4, 8 e 16; Pb = 0, 23, 46, 92, 184 e 368; Cu = 0, 8, 16, 32, 64 e 128; Zn = 0, 23, 46, 92, 184 e 368; Ni = 0, 4, 8; 16, 32, 64 mgdm<sup>3</sup>.

DCd<sup>2</sup> = doses de Cd para Pb0, Cu8, Zn23 e Ni4 ; DPb<sup>3</sup> = doses de Pb para Cd0, Cu8, Zn23 e Ni4 ; DCu<sup>4</sup> = doses de Cu para Cd0, Pb0, Zn23 e Ni4; DZn<sup>5</sup> = doses de Zn para Cd0, Pb0, Cu8 e Ni4 e DNI<sup>6</sup> = doses de Ni para Cd0, Pb0, Cu8 e Zn23

<sup>0</sup>, \*, \*\* Significativo a 10, 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

nd: não detectado

Quadro 9 – Teores de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni na parte aérea de plantas de alface, em função das doses de Cd<sup>1</sup> e Pb<sup>2</sup> aplicadas aos solos LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>

Metal	LVA <sub>TG</sub>					LVA <sub>TM</sub>					LVA <sub>JP</sub>					
	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	
mg dm <sup>-3</sup>	----- mg kg <sup>-1</sup> -----					----- mg kg <sup>-1</sup> -----					----- mg kg <sup>-1</sup> -----					
<b>Cd</b>	0	0,01	0,40	6,99	241,3	2,37	0,03	0,15	5,64	406,8	12,7	0,00	0,15	8,95	653,7	9,62
	1	10,29	0,03	7,70	189,8	1,57	44,74	0,00	5,43	509,2	13,7	94,99	0,06	11,01	616,9	12,44
	2	29,96	0,12	7,60	167,2	1,54	54,96	0,00	5,18	521,1	9,78	123,18	0,00	10,26	547,9	10,11
	4	54,19	0,29	8,13	160,9	1,01	151,9	0,43	4,88	413,0	12,9	229,49	0,00	10,43	535,7	10,38
	8	97,43	0,32	8,79	157,1	1,98	203,1	0,14	4,50	301,5	8,92	249,43	0,71	8,69	377,3	11,29
	16	115,30	0,35	4,95	130,1	1,28	179,7	0,35	2,78	234,0	11,2	365,89	0,35	8,77	326,7	9,42
<b>Pb</b>	0	0,01	0,40	6,99	241,3	2,37	0,03	0,15	5,64	406,8	12,67	0,00	0,15	8,95	653,7	9,62
	23	0,29	0,67	7,06	264,5	2,60	0,01	3,44	3,48	414,7	8,99	0,18	8,86	13,52	750,9	14,13
	46	0,04	3,30	4,54	221,9	2,76	0,08	13,27	6,23	442,4	8,36	0,55	37,01	15,20	715,8	7,48
	92	0,00	3,39	6,37	187,1	1,32	0,06	35,12	5,65	426,0	10,26	0,55	59,87	12,86	750,1	15,04
	184	0,09	5,37	5,74	220,4	3,64	0,06	66,91	7,56	530,2	15,19	0,42	166,4	13,47	620,2	9,40
	368	0,05	8,88	6,85	192,2	1,99	0,04	103,75	10,57	552,2	15,93	0,52	584,7	11,13	595,3	10,17

<sup>1</sup> Para teores no solo de Pb = 0, Cu = 8, Zn = 23 e Ni = 4 mg dm<sup>-3</sup>

<sup>2</sup> Para teores no solo de Cd = 0, Cu = 8, Zn = 23 e Ni = 4 mg dm<sup>-3</sup>

Quadro 10 – Teores de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni na parte aérea de plantas de alface, em função das doses de Cu<sup>1</sup> e Zn<sup>2</sup> e Ni<sup>3</sup> aplicadas aos solos LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>

Metal	LVA <sub>TG</sub>					LVA <sub>TM</sub>					LVA <sub>JP</sub>					
	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	
mg dm <sup>-3</sup>	mg kg <sup>-1</sup>					mg kg <sup>-1</sup>					mg kg <sup>-1</sup>					
Cu	0	0,66	0,27	1,01	346,4	2,05	1,16	0,21	1,33	407,	7,31	1,78	0,00	3,34	676,7	9,55
	1	0,01	0,40	6,99	241,3	2,37	0,03	0,15	5,64	406,8	12,67	0,00	0,15	8,95	653,7	9,62
	2	0,42	0,47	9,53	261,8	1,57	0,39	0,08	6,15	462,8	13,84	1,22	0,09	13,02	741,9	6,93
	4	0,02	0,23	9,72	208,5	2,51	0,17	0,19	8,74	425,7	11,30	0,87	0,00	17,33	584,4	8,38
	8	0,03	0,22	10,83	252,1	3,70	0,21	0,15	10,61	411,0	12,94	0,66	0,03	25,73	688,9	10,59
	16	0,11	0,33	10,42	200,4	2,63	0,07	1,66	12,72	456,7	15,20	0,50	0,22	22,16	606,0	10,89
Zn	0	0,11	0,16	4,77	30,8	2,66	0,10	0,37	3,90	36,00	9,82	0,18	0,24	11,18	41,00	8,39
	23	0,01	0,40	6,99	241,3	2,37	0,03	0,15	5,64	406,8	12,67	0,00	0,15	8,95	653,7	9,62
	46	0,05	0,00	4,38	425,8	2,24	0,03	0,22	5,33	825,9	12,92	0,64	0,05	9,37	1091,0	7,85
	92	0,03	0,39	3,63	555,7	1,41	0,08	0,37	4,45	1289,7	10,95	0,34	0,22	10,71	1927,2	8,81
	184	0,14	0,00	2,94	1266,8	3,46	0,12	0,69	4,05	1814,0	4,66	0,17	4,07	6,10	2006,6	10,00
	368	0,06	0,23	0,87	1482,3	1,15	0,02	2,93	4,28	1657,7	7,50	0,00	2,91	8,69	3477,6	5,07
Ni	0	0,04	0,15	4,81	225,8	0,80	0,03	0,21	5,05	595,1	0,73	0,25	1,29	13,89	873,5	5,97
	8	0,01	0,40	6,99	241,3	2,37	0,03	0,15	5,64	406,8	12,67	0,00	0,15	8,95	653,7	9,62
	16	0,01	0,03	6,21	220,1	3,84	0,05	0,20	4,34	448,4	22,60	0,16	0,15	11,61	839,0	23,49
	32	0,02	0,08	3,51	173,7	4,63	0,01	0,32	2,07	286,4	39,60	0,20	0,16	12,28	681,9	30,79
	64	0,00	0,17	5,85	185,0	12,73	0,00	0,00	2,95	268,3	73,37	0,26	0,38	10,37	628,8	47,71
	128	0,01	0,53	2,14	147,5	46,05	0,01	0,00	1,35	173,3	233,51	0,13	0,50	6,58	385,6	179,82

<sup>1</sup> Para teores no solo de Cd = 0, Pb = 0, Zn = 23 e Ni = 4 mg dm<sup>-3</sup>

<sup>2</sup> Para teores no solo de Cd = 0, Pb = 0, Cu = 8 e Ni = 4 mg dm<sup>-3</sup>

<sup>3</sup> Para teores no solo de Cd = 0, Pb = 0, Cu = 0 e Zn = 23 mg dm<sup>-3</sup>

Quadro 11 – Matéria seca (g) de plantas de alface colhidas após 50 dias de crescimento em amostras dos solos LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub> submetidas a doses crescentes de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni

<i>Tratamento</i>					<i>Solos</i>		
<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Ni</b>	<b>LVA<sub>TG</sub></b>	<b>LVA<sub>TM</sub></b>	<b>LVA<sub>JP</sub></b>
mg dm <sup>-3</sup>							
0	0	8	23	4	4,41	3,75	2,23
1	0	8	23	4	3,75	2,83	2,40
2	0	8	23	4	4,00	3,09	2,46
4	0	8	23	4	3,94	3,37	1,47
8	0	8	23	4	4,74	2,73	1,40
16	0	8	23	4	3,79	2,42	2,00
0	0	8	23	4	4,41	3,75	2,23
0	23	8	23	4	3,60	3,27	1,99
0	46	8	23	4	3,59	3,03	1,55
0	92	8	23	4	3,67	2,50	1,27
0	184	8	23	4	3,91	3,31	1,63
0	368	8	23	4	3,47	2,98	1,58
0	0	0	23	4	3,44	2,53	2,24
0	0	8	23	4	4,41	3,75	2,23
0	0	16	23	4	2,92	3,95	1,09
0	0	32	23	4	3,96	2,80	1,82
0	0	64	23	4	4,13	3,65	1,72
0	0	128	23	4	3,56	1,82	1,98
0	0	8	0	4	3,40	2,94	1,52
0	0	8	23	4	4,41	3,75	2,23
0	0	8	46	4	3,56	3,45	2,71
0	0	8	92	4	3,50	1,88	1,27
0	0	8	184	4	2,52	0,98	0,92
0	0	8	368	4	1,75	0,23	0,21
0	0	8	23	0	3,46	2,81	1,49
0	0	8	23	4	4,41	3,75	2,23
0	0	8	23	8	4,23	2,43	2,41
0	0	8	23	16	3,27	3,60	1,89
0	0	8	23	32	4,19	4,27	1,22
0	0	8	23	64	4,18	3,21	1,63

Quadro 12 – Teores de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni nas raízes, caule, folhas e grãos de feijão (variedade Carnaval), em função das doses de Cd<sup>1</sup> aplicadas aos solos LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>

Cd mg dm <sup>-3</sup>	LVA <sub>TG</sub>					LVA <sub>TM</sub>					LVA <sub>JP</sub>				
	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni
	mg kg <sup>-1</sup>					mg kg <sup>-1</sup>					mg kg <sup>-1</sup>				
	raízes														
0	0,00	8,93	21,10	164,41	14,80	0,00	12,47	15,29	344,09	37,41	0,00	51,09	36,50	421,70	30,54
1	19,47	11,13	22,34	220,85	17,64	54,62	29,83	21,11	487,42	62,22	43,49	50,66	57,98	459,91	38,12
2	23,99	5,84	12,32	115,24	10,81	97,45	33,38	39,13	463,73	53,07	88,06	41,52	46,32	410,08	36,99
4	63,54	6,50	17,42	140,28	14,47	203,51	15,31	19,83	395,71	43,86	188,96	43,60	22,75	356,67	32,06
8	114,10	5,22	14,42	119,63	9,88	358,59	23,02	36,60	331,43	37,02	280,40	29,93	43,38	294,98	28,01
16	314,47	7,82	20,76	120,50	13,38	782,83	16,66	19,73	276,28	32,27	507,32	44,35	22,68	198,16	17,66
	caule														
0	0,28	1,32	1,59	36,25	1,62	0,28	7,70	1,10	64,60	12,26	0,75	1,27	2,16	132,26	13,36
1	8,47	2,07	1,05	47,98	2,89	13,60	6,70	0,93	90,90	16,03	34,30	1,15	2,25	161,32	19,19
2	10,71	1,98	1,09	25,38	1,19	30,80	5,17	1,64	93,53	14,52	45,52	1,47	1,91	132,39	12,07
4	26,37	1,21	1,36	27,20	1,79	59,02	5,98	1,16	76,00	13,60	70,60	1,30	2,40	107,78	13,89
8	37,14	1,86	1,07	16,81	1,25	115,47	4,59	0,96	85,55	19,02	178,37	1,26	4,54	101,95	17,87
16	83,68	1,65	1,25	21,38	1,46	227,35	9,33	2,71	66,11	13,43	256,12	1,22	5,63	74,48	10,95
	folhas														
0	0,04	0,12	0,00	50,62	2,20	0,01	1,04	0,75	47,53	8,32	0,00	0,20	1,18	89,98	8,60
1	0,68	0,49	0,00	54,09	1,82	1,26	1,03	0,00	80,14	11,18	2,06	0,25	0,97	108,12	16,42
2	0,70	0,11	0,00	32,73	1,27	1,81	0,92	0,00	78,43	9,18	3,46	0,36	0,73	79,92	10,67
4	1,77	0,18	0,00	35,50	1,27	4,19	0,68	0,00	53,69	10,21	3,54	0,57	1,00	41,59	7,39
8	2,61	0,51	0,00	22,94	0,96	6,87	1,33	0,00	37,08	5,33	8,15	0,41	1,13	55,40	10,28
16	3,49	0,16	0,00	17,98	1,10	10,18	0,81	0,00	30,32	5,00	11,34	0,18	0,83	30,07	6,39
	grãos														
0	0,00	5,16	4,04	60,37	11,70	0,00	84,25	6,42	42,36	47,84	0,00	69,50	7,83	45,31	61,83
1	0,16	1,64	4,13	65,22	10,95	0,38	64,21	3,19	49,60	38,29	0,89	37,87	6,35	48,26	64,45
2	0,38	1,52	2,48	54,29	6,33	2,08	50,41	6,33	50,47	63,79	2,26	36,79	6,68	51,44	48,99
4	2,19	1,73	2,24	56,26	7,62	2,59	35,69	3,10	47,44	29,09	5,13	39,91	3,83	51,47	27,27
8	4,01	1,46	2,99	51,90	5,58	7,27	29,16	2,69	47,45	36,19	7,47	25,71	6,03	53,89	43,87
16	10,62	2,42	2,29	46,98	8,86	9,02	25,49	0,79	31,25	19,17	13,91	23,84	3,71	53,28	31,25

<sup>1</sup> Para teores no solo de Pb = 0, Cu = 8, Zn = 23 e Ni = 4 mg dm<sup>-3</sup>

Quadro 13 – Teores de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni nas raízes, caule, folhas e grãos de feijão (variedade Carnaval), em função das doses de Pb<sup>1</sup> aplicadas aos solos LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>

Pb mg dm <sup>-3</sup>	LVA <sub>TG</sub>					LVA <sub>TM</sub>					LVA <sub>JP</sub>				
	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni
	mg kg <sup>-1</sup>					mg kg <sup>-1</sup>					mg kg <sup>-1</sup>				
	raízes														
0	0,00	8,93	21,10	164,41	14,80	0,00	12,47	15,29	344,09	37,41	0,00	51,09	36,50	421,70	30,54
23	0,00	167,56	18,16	178,60	15,75	0,00	335,78	19,94	441,15	53,46	0,00	555,98	42,71	403,55	38,02
46	0,00	278,69	12,13	133,66	12,51	0,00	1415,50	26,61	518,34	60,51	0,00	1627,50	36,77	365,84	32,39
92	0,00	700,56	14,65	166,56	13,89	0,00	3189,90	22,77	532,78	54,81	0,00	3628,18	39,66	458,01	40,20
184	0,00	1972,68	15,83	192,24	14,73	0,00	3813,47	19,97	513,39	52,32	0,00	5370,04	32,43	456,60	34,84
368	0,00	2110,90	8,45	151,14	11,93	0,00	14382,38	25,27	582,07	63,76	0,00	7814,23	29,13	383,64	32,93
	caule														
0	0,28	1,32	1,59	36,25	1,62	0,28	7,704	1,10	64,60	12,26	0,75	1,27	2,16	132,26	13,36
23	0,32	16,13	1,56	33,37	1,51	0,22	11,91	1,47	156,10	16,77	0,30	17,64	2,26	135,32	9,73
46	0,29	23,34	1,23	26,18	0,71	0,40	17,83	1,21	127,47	13,16	0,31	61,54	1,19	116,42	15,11
92	0,57	46,36	1,19	30,82	1,09	0,03	40,43	0,52	115,28	11,98	0,40	90,25	1,97	164,12	14,24
184	0,87	87,60	1,30	57,11	2,59	0,20	46,23	0,60	103,31	16,13	0,61	120,30	2,06	133,22	9,35
368	0,36	107,47	1,03	44,71	1,54	0,19	299,71	0,87	82,57	17,48	0,40	151,02	5,78	141,81	15,27
	folhas														
0	0,04	0,12	0,00	50,62	2,20	0,01	1,04	0,75	47,53	8,32	0,00	0,20	1,18	89,98	8,60
23	0,02	2,17	0,00	43,41	1,46	0,00	1,39	0,88	64,79	12,94	0,00	0,94	1,22	109,47	7,14
46	0,02	2,42	0,00	30,11	0,95	0,01	1,68	0,27	73,27	7,76	0,00	3,03	1,02	84,51	7,50
92	0,02	2,78	0,00	33,31	1,25	0,00	2,57	0,00	77,99	8,54	0,00	5,26	1,15	109,53	10,68
184	0,02	11,76	0,00	50,56	2,71	0,00	2,28	0,00	87,99	6,69	0,00	6,22	0,99	76,82	8,16
368	0,02	8,22	0,00	56,29	1,96	0,00	14,29	0,00	72,16	7,68	0,00	7,15	1,08	90,54	8,66
	grãos														
0	0,00	5,16	4,04	60,37	11,70	0,00	84,25	6,42	42,36	47,84	0,00	69,50	7,83	45,31	61,83
23	0,00	5,18	3,88	63,24	10,81	0,00	73,50	5,86	53,35	49,47	0,00	69,17	8,52	46,16	50,17
46	0,00	8,50	2,65	52,23	5,31	0,00	105,50	3,99	48,92	44,22	0,00	60,67	5,60	35,89	57,03
92	0,00	7,83	3,31	54,98	6,47	0,00	100,00	5,27	49,42	51,12	0,00	65,33	5,47	43,24	52,65
184	0,00	6,83	3,54	60,28	9,61	0,00	83,50	6,03	51,20	43,59	0,00	72,33	5,05	45,41	48,84
368	0,00	6,17	3,11	55,06	6,15	0,00	109,00	4,76	48,16	45,94	0,00	84,67	3,46	43,19	46,55

106

<sup>1</sup> Para teores no solo de Cd = 0, Cu = 8, Zn = 23 e Ni = 4 mg dm<sup>-3</sup>

Quadro 14 – Teores de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni nas raízes, caule, folhas e grãos de feijão (variedade Carnaval), em função das doses de Cu<sup>1</sup> aplicadas aos solos LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>

Cu mg dm <sup>-3</sup>	LVA <sub>TG</sub>					LVA <sub>TM</sub>					LVA <sub>JP</sub>				
	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni
	mg kg <sup>-1</sup>					mg kg <sup>-1</sup>					mg kg <sup>-1</sup>				
	raízes														
0	0,00	6,59	10,16	155,11	14,37	0,00	10,80	5,26	354,90	41,04	0,00	32,79	0,00	418,42	29,95
8	0,00	8,93	21,10	164,11	14,80	0,00	12,47	15,29	344,09	37,41	0,00	51,09	36,50	421,70	30,54
16	0,00	4,50	37,32	145,43	14,84	0,00	9,36	59,91	523,39	63,55	0,00	24,10	59,14	388,25	31,61
32	0,00	8,20	60,01	218,96	17,82	0,00	9,00	124,43	433,24	50,86	0,00	23,09	125,50	368,51	29,35
64	0,00	5,04	69,74	143,82	12,84	0,00	10,50	156,04	462,34	50,30	0,00	27,69	177,62	381,99	29,80
128	0,00	6,57	122,33	185,77	17,09	0,00	8,59	366,79	473,34	57,39	0,00	23,39	338,81	294,91	22,86
	caule														
0	0,67	2,56	1,30	51,83	1,70	1,83	11,84	0,28	79,19	17,59	0,70	1,10	0,58	142,56	12,75
8	0,28	1,32	1,59	36,25	1,62	0,28	7,70	1,10	64,60	12,66	0,75	1,27	1,87	132,26	13,36
16	0,49	1,48	1,51	26,73	1,58	0,33	7,07	1,53	81,82	15,51	0,85	1,47	2,16	128,16	10,35
32	0,56	1,16	1,24	33,10	2,75	0,31	8,64	0,95	99,01	13,56	0,55	0,90	2,56	116,63	10,68
64	0,47	2,71	1,43	32,63	1,47	0,27	11,60	3,74	83,16	15,75	0,47	0,81	3,81	123,45	13,26
128	0,17	3,30	2,78	33,14	2,78	0,32	7,85	6,52	88,01	16,11	0,52	1,27	4,42	100,66	6,07
	folhas														
0	0,07	0,04	0,00	47,62	2,08	0,11	1,15	0,00	91,90	10,75	0,00	0,14	0,00	87,69	9,79
8	0,04	0,12	0,00	50,62	2,20	0,01	1,04	0,75	47,53	8,32	0,00	0,20	1,18	89,98	8,60
16	0,05	0,62	0,79	61,84	1,89	0,03	0,80	1,44	81,22	15,14	0,00	0,24	2,76	91,01	8,98
32	0,05	0,33	1,26	54,19	1,66	0,01	0,70	1,98	70,29	9,18	0,00	0,96	3,70	81,15	12,46
64	0,06	0,21	2,43	39,68	1,18	0,01	0,73	4,88	81,74	10,63	0,00	0,29	5,74	80,68	12,31
128	0,07	0,05	3,51	52,42	1,55	0,00	0,77	10,96	92,29	12,32	0,00	0,29	13,03	61,89	5,95
	grãos														
0	0,00	1,57	2,62	63,37	12,23	0,00	32,41	2,30	41,02	45,12	0,00	45,68	3,97	49,71	54,52
8	0,00	5,16	4,04	60,37	11,70	0,00	84,25	6,42	42,36	47,84	0,00	69,50	7,83	45,31	61,83
16	0,00	1,42	5,34	58,61	7,75	0,00	29,77	6,49	43,77	30,44	0,00	38,99	9,07	47,63	62,15
32	0,00	2,51	6,58	58,24	12,09	0,00	32,29	12,06	45,42	59,87	0,00	39,78	11,20	44,63	57,01
64	0,00	3,42	8,05	64,75	9,81	0,00	29,05	12,57	45,51	44,08	0,00	37,67	11,49	44,48	55,82
128	0,00	4,69	5,69	53,41	10,06	0,00	19,30	13,38	29,89	58,27	0,00	28,86	11,14	44,05	24,25

<sup>1</sup> Para teores no solo de Cd = 0, Pb = 0, Zn = 23 e Ni = 4 mg dm<sup>-3</sup>

Quadro 15 – Teores de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni nas raízes, caule, folhas e grãos de feijão (variedade Carnaval), em função das doses de Zn<sup>1</sup> aplicadas aos solos LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>

Zn mg dm <sup>-3</sup>	LVA <sub>TG</sub>					LVA <sub>TM</sub>					LVA <sub>JP</sub>				
	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni
	mg kg <sup>-1</sup>					mg kg <sup>-1</sup>					mg kg <sup>-1</sup>				
	raízes														
0	0,00	6,88	21,26	59,22	16,25	0,00	9,93	17,49	36,89	36,01	0,00	22,21	29,15	24,92	26,71
23	0,00	8,93	21,10	164,41	14,80	0,00	12,47	15,29	344,09	37,41	0,00	51,09	36,51	421,70	30,54
46	0,00	4,28	19,73	378,05	19,50	0,00	5,15	29,92	1045,15	55,84	0,00	26,35	32,91	694,51	27,62
92	0,00	1,24	18,38	653,64	17,20	0,00	11,09	26,09	1841,09	56,85	0,00	18,65	15,70	1151,12	21,04
184	0,00	3,70	20,11	1177,63	16,14	0,00	12,88	25,88	2427,16	45,73	0,00	30,83	17,07	1985,93	24,07
368	0,00	7,08	15,75	1671,20	14,24	0,00	12,01	16,52	3744,87	30,70	0,00	32,36	12,42	2070,25	16,87
	caule														
0	0,40	4,11	1,05	1,40	2,59	0,44	8,37	0,55	2,79	11,78	0,60	1,16	1,27	2,64	18,49
23	0,28	1,32	1,59	36,25	1,62	0,28	7,704	1,10	64,60	12,26	0,75	1,27	2,16	132,26	13,36
46	0,47	8,42	2,79	152,51	3,38	0,55	4,67	0,63	245,85	14,39	0,43	1,00	2,74	320,21	9,59
92	0,27	7,15	2,32	244,25	2,70	0,33	3,33	1,46	496,12	15,55	0,14	0,94	2,01	403,12	5,06
184	0,60	10,98	1,95	606,22	3,05	0,31	4,79	1,14	957,29	17,38	0,49	1,04	2,03	784,40	5,18
368	0,27	6,92	2,23	992,05	1,96	0,42	7,55	2,63	1265,23	12,94	0,88	1,54	1,37	1122,89	3,15
	folhas														
0	0,05	0,03	0,00	7,48	2,00	0,01	0,74	1,12	36,41	7,42	0,00	0,13	1,11	6,17	12,93
23	0,04	0,12	0,00	50,62	2,20	0,01	1,04	0,75	47,53	8,32	0,00	0,20	1,18	89,98	8,60
46	0,04	0,14	0,00	175,70	1,87	0,02	1,38	0,37	243,23	13,00	0,00	0,28	0,73	182,24	8,42
92	0,04	0,12	0,00	226,67	2,21	0,01	1,02	1,17	270,21	11,35	0,00	0,21	0,96	305,80	5,80
184	0,03	0,10	0,00	546,39	2,49	0,02	1,48	1,57	756,02	11,87	0,00	0,33	1,11	577,42	6,45
368	0,09	0,15	0,00	1130,52	1,49	0,02	1,00	1,25	949,40	13,02	0,00	0,96	1,49	751,34	6,22
	grãos														
0	0,00	0,91	5,99	29,09	14,71	0,00	35,30	5,33	22,03	70,24	0,00	38,28	10,03	24,04	82,65
23	0,00	5,16	4,04	60,37	11,70	0,00	84,25	6,42	42,36	47,84	0,00	69,50	7,83	45,31	61,83
46	0,00	1,85	3,36	70,22	11,49	0,00	46,99	7,06	48,35	57,56	0,00	35,75	6,36	51,09	56,99
92	0,00	2,30	4,15	71,60	7,10	0,00	51,00	3,36	66,49	31,51	0,00	33,55	5,06	57,64	32,71
184	0,00	3,62	2,68	84,05	6,22	0,00	24,85	3,25	89,93	20,61	0,00	43,21	1,68	61,71	10,97
368	0,00	3,37	3,94	99,76	2,09	0,00	19,75	2,19	91,10	11,04	0,00	42,55	2,29	98,01	6,51

108

<sup>1</sup> Para teores no solo de Cd = 0, Pb = 0, Cu = 8 e Ni = 4 mg dm<sup>-3</sup>

Quadro 16 – Teores de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni nas raízes, caule, folhas e grãos de feijão (variedade Carnaval), em função das doses de Ni<sup>1</sup> aplicadas aos solos LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>

Ni mg dm <sup>-3</sup>	LVA <sub>TG</sub>					LVA <sub>TM</sub>					LVA <sub>JP</sub>				
	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni
	mg kg <sup>-1</sup>					mg kg <sup>-1</sup>					mg kg <sup>-1</sup>				
	raízes														
0	0,00	5,14	17,51	191,26	4,76	0,00	9,67	23,03	626,52	0,00	0,00	26,90	32,35	475,01	2,66
4	0,00	8,92	21,10	164,41	14,80	0,00	12,47	15,29	344,09	37,41	0,00	51,09	36,50	421,70	30,54
8	0,00	1,87	12,81	193,39	19,90	0,00	5,89	22,06	580,99	144,93	0,00	21,23	24,74	320,10	54,36
16	0,00	5,56	15,69	148,95	53,34	0,00	7,73	18,34	421,10	248,06	0,00	20,31	24,21	339,71	163,67
32	0,00	3,59	19,68	205,56	133,04	0,00	2,93	12,79	240,05	272,34	0,00	27,81	12,64	263,64	218,36
64	0,00	4,86	13,43	133,21	228,17	0,00	3,74	17,25	158,29	513,18	0,00	17,53	4,87	117,17	281,51
	caule														
0	0,28	8,65	3,31	45,32	0,00	0,18	4,89	1,04	87,58	0,00	0,39	1,93	3,37	157,58	0,29
4	0,28	1,32	0,43	36,25	1,62	0,29	7,70	1,10	64,60	12,26	0,75	1,27	2,16	132,26	13,36
8	0,04	9,07	5,20	45,63	4,88	0,52	8,60	1,32	83,12	22,85	0,33	1,38	2,04	92,20	15,09
16	0,14	8,26	2,87	40,80	18,32	0,37	1,87	1,20	78,49	41,22	0,27	2,99	2,21	67,25	22,06
32	0,34	6,09	1,23	28,86	19,78	0,32	7,41	1,19	49,88	58,87	0,30	1,28	2,70	34,16	31,27
64	0,31	6,69	2,30	13,64	27,69	0,31	5,47	1,22	13,40	64,25	0,52	2,64	1,17	14,15	51,42
	folhas														
0	0,04	0,06	0,00	49,70	0,99	0,02	0,33	0,46	86,85	2,32	0,00	0,15	0,92	118,62	1,28
4	0,04	0,12	0,00	50,62	2,20	0,01	1,04	0,75	47,53	8,32	0,00	0,20	1,18	89,98	8,60
8	0,03	0,10	0,00	50,43	2,28	0,01	0,97	0,60	75,88	15,66	0,00	0,25	1,15	54,74	10,25
16	0,03	0,25	0,00	32,20	4,00	0,02	0,64	0,25	50,42	37,21	0,00	0,26	1,05	37,88	20,39
32	0,02	0,13	0,00	30,48	5,54	0,02	0,63	0,26	33,75	39,90	0,00	0,60	1,17	25,67	31,33
64	0,02	0,10	0,00	22,54	11,61	0,00	1,16	0,31	19,43	64,26	0,00	0,66	0,94	22,51	85,63
	grãos														
0	0,00	1,67	3,96	60,82	0,12	0,00	34,81	4,60	50,50	0,35	0,00	31,97	7,84	70,58	2,00
4	0,00	5,16	4,04	60,37	11,70	0,00	84,25	6,42	42,35	47,84	0,00	69,50	7,83	45,31	51,83
8	0,00	1,98	3,25	54,05	16,11	0,00	36,94	5,34	34,10	81,12	0,00	43,36	5,39	39,63	60,40
16	0,00	1,97	3,35	50,74	34,04	0,00	55,84	3,98	33,82	87,64	0,00	37,10	5,34	35,12	100,12
32	0,00	3,81	4,45	40,96	63,12	0,00	48,85	5,08	25,83	147,41	0,00	35,44	4,11	27,35	160,30
64	0,00	3,34	1,91	30,90	67,56	0,00	29,31	3,16	22,55	126,43	0,00	35,76	2,92	27,35	123,61

<sup>1</sup> Para teores no solo de Cd = 0, Pb = 0, Cu = 8 e Zn = 23 mg dm<sup>-3</sup>

Quadro 17 – Matéria seca (g) produzida por raízes, caule, folhas e vagens de plantas de feijão cultivadas em amostras dos solos LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>, que receberam doses crescentes de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni

	<i>Tratamentos</i>					<i>Solos</i>											
	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	LVA <sub>TG</sub>				LVA <sub>TM</sub>				LVA <sub>JP</sub>			
	mg dm <sup>-3</sup>					Raízes	Caule	Folhas	Vagens	Raízes	Caule	Folhas	Vagens	Raízes	Caule	Folhas	Vagens
0	0	8	23	4	1,49	1,27	1,57	3,59	1,66	0,87	1,20	2,12	2,14	0,75	1,06	1,30	
1	0	8	23	4	1,75	1,56	1,77	2,82	2,28	0,69	0,84	3,64	1,63	0,71	1,01	3,33	
2	0	8	23	4	1,43	1,45	1,67	2,91	1,90	0,96	1,24	1,89	1,54	1,05	1,50	2,51	
4	0	8	23	4	1,53	1,39	1,60	3,24	1,53	1,07	1,15	3,31	1,59	1,09	1,25	2,04	
8	0	8	23	4	1,25	1,11	1,36	2,99	1,11	1,34	1,29	2,49	1,74	1,03	1,11	1,56	
16	0	8	23	4	1,17	1,37	1,43	3,51	1,25	0,97	0,98	3,05	1,23	0,54	0,53	1,93	
0	0	8	23	4	1,49	1,27	1,57	3,59	1,66	0,87	1,20	2,12	2,14	0,75	1,06	1,30	
0	23	8	23	4	1,71	1,31	1,74	2,63	1,95	0,88	1,11	3,03	1,62	1,19	1,53	2,72	
0	46	8	23	4	1,68	1,35	1,87	3,84	1,75	0,72	0,97	2,83	1,78	1,01	1,61	1,73	
0	92	8	23	4	1,48	1,16	1,56	3,44	1,80	0,91	1,25	2,19	1,45	0,86	1,22	2,86	
0	184	8	23	4	1,44	1,34	1,67	3,11	1,72	1,20	1,47	2,61	2,10	1,43	1,79	3,58	
0	368	8	23	4	1,84	1,54	1,77	3,04	1,73	1,01	1,20	3,84	1,81	1,28	1,66	3,02	
0	0	0	23	4	1,78	1,35	1,70	2,64	1,68	1,23	1,45	2,43	1,79	0,84	1,21	3,27	
0	0	8	23	4	1,49	1,27	1,57	3,59	1,66	0,87	1,20	2,12	2,14	0,75	1,06	1,30	
0	0	16	23	4	1,07	1,18	1,50	2,98	2,23	1,14	1,72	2,14	1,61	1,00	1,47	3,04	
0	0	32	23	4	1,54	1,15	1,45	2,67	2,39	0,98	1,47	2,28	1,91	1,21	1,70	2,77	
0	0	64	23	4	1,47	1,29	1,67	3,27	2,04	1,20	1,33	1,94	1,59	0,63	0,96	3,50	
0	0	128	23	4	1,49	1,30	1,74	2,97	1,85	1,02	1,24	2,81	1,95	1,24	1,80	4,21	
0	0	8	0	4	1,81	0,87	1,37	2,23	1,61	0,85	1,32	1,56	1,95	1,00	1,49	1,45	
0	0	8	23	4	1,49	1,27	1,57	3,59	1,66	0,87	1,20	2,12	2,14	0,75	1,06	1,30	
0	0	8	46	4	1,33	1,41	1,64	3,27	1,73	1,32	1,65	1,93	1,64	0,92	1,39	2,92	
0	0	8	92	4	1,65	1,34	1,49	3,43	1,82	0,77	0,95	3,87	1,84	1,09	1,50	2,64	
0	0	8	184	4	0,86	1,34	1,57	3,70	1,03	0,83	1,12	1,90	0,99	0,85	1,12	3,49	
0	0	8	368	4	0,65	0,78	1,23	4,02	0,62	0,70	0,92	2,20	0,73	0,56	0,88	2,07	
0	0	8	23	0	1,58	1,22	1,60	3,10	2,03	0,95	1,20	2,85	1,71	0,80	1,18	3,30	
0	0	8	23	4	1,49	1,27	1,57	3,59	1,66	0,87	1,20	2,12	2,14	0,75	1,06	1,30	
0	0	8	23	8	1,51	1,57	1,77	2,98	1,92	0,93	1,31	2,49	2,25	1,02	1,37	3,19	
0	0	8	23	16	1,44	1,09	1,32	3,03	2,01	0,69	0,97	2,61	1,77	0,94	1,27	2,53	
0	0	8	23	32	1,89	1,46	1,74	2,70	2,16	0,95	1,25	2,06	2,11	0,92	1,43	1,73	
0	0	8	23	64	1,67	1,16	1,45	2,98	1,52	0,94	1,28	0,88	1,43	0,76	1,03	1,31	

Quadro 18 – Número de vagens (NVAG) e peso médio de vagens (PMVAG) de plantas de feijão cultivadas em amostras dos solos LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>, que receberam doses crescentes de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni

	<i>Tratamentos</i>					<i>Solos</i>					
	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	LVA <sub>TG</sub>		LVA <sub>TM</sub>		LVA <sub>JP</sub>	
	mg dm <sup>-3</sup>					NVAG	PMVAG	NVAG	PMVAG	NVAG	PMVAG
	0	0	8	23	4	3,50	1,02	2,67	0,81	2,83	0,46
	1	0	8	23	4	3,00	0,95	4,33	0,87	3,33	0,99
	2	0	8	23	4	3,17	1,03	3,33	0,59	3,00	0,81
	4	0	8	23	4	3,50	0,94	3,67	0,98	3,17	0,71
	8	0	8	23	4	2,33	1,31	3,50	0,70	2,50	0,60
	16	0	8	23	4	3,33	1,06	3,83	0,79	4,00	0,32
	0	0	8	23	4	3,50	1,02	2,67	0,81	2,83	0,46
	0	23	8	23	4	2,80	1,16	3,67	0,83	2,83	0,96
	0	46	8	23	4	3,33	1,16	3,67	0,82	3,17	0,55
	0	92	8	23	4	2,83	1,29	3,00	0,62	3,00	0,99
	0	184	8	23	4	2,67	1,16	3,00	0,87	4,17	0,85
	0	368	8	23	4	2,50	1,22	4,50	0,86	3,00	1,02
	0	0	0	23	4	3,17	0,85	3,00	0,80	3,17	1,02
	0	0	8	23	4	3,50	1,02	2,67	0,81	2,83	0,46
	0	0	16	23	4	2,50	1,21	4,00	0,57	3,17	0,95
	0	0	32	23	4	2,67	0,99	3,00	0,81	2,83	0,97
	0	0	64	23	4	3,33	0,98	2,67	0,75	3,50	1,02
	0	0	128	23	4	3,33	0,90	3,00	0,97	3,50	1,21
	0	0	8	0	4	3,17	0,71	1,67	0,92	1,67	0,92
	0	0	8	23	4	3,50	1,02	2,67	0,81	2,83	0,46
	0	0	8	46	4	2,83	1,15	2,67	0,76	2,83	1,02
	0	0	8	92	4	3,00	1,16	4,67	0,97	4,17	0,96
	0	0	8	184	4	3,33	1,11	3,17	0,61	3,17	1,11
	0	0	8	368	4	3,83	1,05	2,50	0,92	2,83	1,02
	0	0	8	23	0	2,17	1,45	3,17	0,88	2,83	1,07
	0	0	8	23	4	3,50	1,02	2,67	0,81	2,83	0,46
	0	0	8	23	8	3,50	0,88	4,17	0,62	3,33	0,93
	0	0	8	23	16	3,17	0,96	4,17	0,64	3,67	0,73
	0	0	8	23	32	2,83	0,97	4,67	0,57	4,50	0,43
	0	0	8	23	64	3,00	1,00	6,33	0,16	6,25	0,20

Quadro 19 – Teores de elementos minerais e metais Cd e Pb em amostras dos solos<sup>1</sup> LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>, após o cultivo de alface, em função da adição de doses crescentes de Cd

		<b>Solos</b>									
<b>Cd</b>	<b>LVA<sub>TG</sub></b>										
	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<b>Zn</b>	<b>Cd</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	
<b>mg dm<sup>-3</sup></b>	<b>-- cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> --</b>		<b>----- mg dm<sup>-3</sup> -----</b>								
0	6,30	2,14	51,64	69,30	4,94	1,97	24,17	0	1,78	0,67	
1	6,33	2,00	59,33	97,20	4,44	2,10	25,77	4,28	1,77	0,83	
2	6,69	2,12	61,42	73,60	4,99	2,17	27,42	9,71	1,90	0,55	
4	6,51	2,08	71,30	77,09	4,34	2,26	24,46	18,07	1,67	0,88	
8	5,81	1,86	57,71	72,83	3,90	1,97	22,90	33,61	1,60	0,68	
16	6,19	2,03	58,38	99,15	4,65	2,22	25,17	78,76	1,77	0,56	
		<b>LVA<sub>TM</sub></b>									
<b>Cd</b>	<b>LVA<sub>TM</sub></b>										
	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<b>Zn</b>	<b>Cd</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	
<b>mg dm<sup>-3</sup></b>	<b>-- cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> --</b>		<b>----- mg dm<sup>-3</sup> -----</b>								
0	1,73	0,25	76,85	35,67	4,07	3,60	19,64	0	0,79	0,64	
1	1,78	0,28	71,94	41,78	2,75	3,68	19,90	2,24	0,64	0,35	
2	1,70	0,23	97,21	35,89	3,43	3,47	18,92	5,79	0,54	0,32	
4	1,81	0,26	66,87	31,33	2,32	3,48	17,93	12,33	0,46	0,22	
8	1,69	0,24	51,69	45,61	4,93	3,28	26,97	38,35	1,15	0,22	
16	1,81	0,27	76,22	47,86	2,64	3,41	18,77	56,98	0,61	0,36	
		<b>LVA<sub>JP</sub></b>									
<b>Cd</b>	<b>LVA<sub>JP</sub></b>										
	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<b>Zn</b>	<b>Cd</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	
<b>mg dm<sup>-3</sup></b>	<b>-- cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> --</b>		<b>----- mg dm<sup>-3</sup> -----</b>								
0	2,73	0,54	77,74	106,03	4,40	5,74	17,81	0	0,47	4,21	
1	3,01	0,62	101,39	122,66	6,68	7,02	24,38	3,46	0,93	4,77	
2	2,59	0,52	73,78	102,09	3,91	6,35	18,03	6,38	0,41	4,44	
4	2,60	0,52	82,61	119,55	4,01	6,73	19,16	14,94	0,49	4,09	
8	2,87	0,61	113,80	161,41	3,01	8,06	18,43	30,75	0,40	4,63	
16	2,78	0,58	101,61	135,70	3,91	6,94	22,12	75,01	0,47	4,62	

<sup>1</sup> Para teores no solo de Pb = 0, Cu = 8, Zn = 23 e Ni = 4 mg dm<sup>-3</sup>

Quadro 20 – Teores de elementos minerais e metais Cd e Pb em amostras dos solos<sup>1</sup> LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>, após o cultivo de alface, em função da adição de doses crescentes de Pb

Pb		Solos									
		LVA <sub>TG</sub>									
		Ca	Mg	P	K	Cu	Mn	Zn	Cd	Ni	Pb
mg dm <sup>-3</sup>	-- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> --	----- mg dm <sup>-3</sup> -----									
0		6,30	2,14	51,64	69,30	4,94	1,97	24,17	0	1,78	0,67
23		6,01	1,89	62,11	67,98	3,95	2,07	23,16	0	1,65	88,01
46		6,05	1,93	72,01	62,72	4,19	1,77	23,84	0	1,66	191,64
92		5,99	1,88	54,72	79,45	4,20	2,05	24,68	0	1,70	401,52
184		5,59	1,90	57,44	98,12	4,06	2,27	26,68	0	1,92	826,65
368		6,21	2,17	56,82	94,41	4,08	2,07	25,36	0	1,71	1757,23
		LVA <sub>TM</sub>									
		Ca	Mg	P	K	Cu	Mn	Zn	Cd	Ni	Pb
mg dm <sup>-3</sup>	-- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> --	----- mg dm <sup>-3</sup> -----									
0		1,73	0,25	76,85	35,67	4,07	3,60	19,64	0	0,79	0,64
23		1,66	0,24	66,96	35,72	3,24	3,64	22,83	0	1,04	67,39
46		1,66	0,23	90,10	40,34	4,47	3,24	24,80	0	1,07	177,43
92		1,63	0,24	72,95	38,36	2,90	3,30	17,93	0	0,44	274,82
184		1,61	0,23	65,44	46,89	3,03	3,47	22,59	0	0,86	619,29
368		1,82	0,30	55,91	43,90	3,33	3,17	20,04	0	0,62	1319,95
		LVA <sub>JP</sub>									
		Ca	Mg	P	K	Cu	Mn	Zn	Cd	Ni	Pb
mg dm <sup>-3</sup>	-- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> --	----- mg dm <sup>-3</sup> -----									
0		2,73	0,54	77,74	106,03	4,40	5,74	17,81	0	0,47	4,21
23		2,70	0,54	89,65	135,34	3,74	6,58	17,07	0	0,43	77,55
46		2,91	0,61	104,68	126,25	3,45	7,97	20,43	0	0,62	154,73
92		3,04	0,67	88,09	137,00	3,70	6,88	19,36	0	0,47	313,45
184		2,84	0,51	71,47	137,87	3,29	7,15	17,74	0	0,43	611,89
368		2,91	0,62	89,44	112,83	4,68	7,16	19,13	0	0,48	1566,55

<sup>1</sup> Para teores no solo de Cd = 0, Cu = 8, Zn = 23 e Ni = 4 mg dm<sup>-3</sup>

Quadro 21 – Teores de elementos minerais e metais Cd e Pb em amostras dos solos<sup>1</sup> LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>, após o cultivo de alface, em função da adição de doses crescentes de Cu

Cu		Solos									
		LVA <sub>TG</sub>									
		Ca	Mg	P	K	Cu	Mn	Zn	Cd	Ni	Pb
mg dm <sup>-3</sup>	-- cmolc dm <sup>-3</sup> --	----- mg dm <sup>-3</sup> -----									
0		6,48	2,05	64,60	96,79	0,17	2,08	25,39	0	1,72	0,58
8		6,30	2,14	51,64	69,30	4,94	1,97	24,17	0	1,78	0,97
16		6,36	2,03	53,60	89,99	8,74	2,10	24,57	0	1,67	0,42
32		6,17	1,97	61,50	68,11	20,35	2,12	26,25	0	1,88	0,17
64		6,04	1,90	57,60	69,78	40,96	2,02	26,63	0	1,88	0,39
128		7,49	2,20	66,98	78,11	97,45	2,57	29,77	0	2,14	0,47
		LVA <sub>TM</sub>									
		Ca	Mg	P	K	Cu	Mn	Zn	Cd	Ni	Pb
mg dm <sup>-3</sup>	-- cmolc dm <sup>-3</sup> --	----- mg dm <sup>-3</sup> -----									
0		2,32	0,48	44,57	26,63	0	2,97	19,67	0	0,56	0,24
8		1,73	0,25	76,85	35,67	4,07	3,60	19,64	0	0,79	0,64
16		1,91	0,28	46,99	33,34	6,16	3,47	18,20	0	0,52	0,27
32		1,73	0,28	55,10	39,20	12,41	3,46	18,29	0	0,48	0,11
64		1,87	0,28	46,31	38,09	42,31	3,32	21,60	0	0,72	0,41
128		1,83	0,30	66,44	72,03	112,68	4,58	25,78	0	0,88	0,56
		LVA <sub>JP</sub>									
		Ca	Mg	P	K	Cu	Mn	Zn	Cd	Ni	Pb
mg dm <sup>-3</sup>	-- cmolc dm <sup>-3</sup> --	----- mg dm <sup>-3</sup> -----									
0		2,68	0,53	84,97	96,35	0	6,47	16,54	0	0,38	4,22
8		2,73	0,54	77,74	106,03	4,40	5,74	17,81	0	0,47	4,21
16		2,60	0,53	115,43	149,23	8,87	6,38	19,25	0	0,49	3,93
32		2,84	0,64	104,80	151,46	17,07	8,02	20,36	0	0,52	4,50
64		2,77	0,56	111,29	145,14	44,75	7,23	24,30	0	0,40	4,52
128		2,72	0,55	61,63	117,40	81,13	6,94	19,71	0	0,32	4,09

<sup>1</sup> Para teores no solo de Cd = 0, Pb = 0, Zn = 23 e Ni = 4 mg dm<sup>-3</sup>

Quadro 22 – Teores de elementos minerais e metais Cd e Pb em amostras dos solos<sup>1</sup> LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>, após o cultivo de alface, em função da adição de doses crescentes de Zn

Zn		Solos								
		LVA <sub>TG</sub>								
mg dm <sup>-3</sup>	Ca	Mg	P	K	Cu	Mn	Zn	Cd	Ni	Pb
	-- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> --	----- mg dm <sup>-3</sup> -----								
0	6,29	2,00	57,83	50,09	4,21	2,03	0,17	0	1,48	0,40
23	6,30	2,14	51,64	69,30	4,94	1,97	24,17	0	1,78	0,67
46	6,10	1,99	69,26	94,30	4,32	2,10	51,64	0	1,72	0,67
92	6,29	2,02	61,97	86,22	4,48	2,12	112,40	0	1,84	0,69
184	5,92	1,98	52,57	147,42	3,61	2,50	226,04	0	1,71	0,49
368	6,25	2,11	52,75	151,42	3,64	2,60	517,86	0	2,01	0,29
Zn		LVA <sub>TM</sub>								
		Ca	Mg	P	K	Cu	Mn	Zn	Cd	Ni
mg dm <sup>-3</sup>	Ca	Mg	P	K	Cu	Mn	Zn	Cd	Ni	Pb
	-- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> --	----- mg dm <sup>-3</sup> -----								
0	1,76	0,25	79,08	40,50	3,47	3,61	0	0	0,26	0,27
23	1,73	0,25	76,85	35,67	4,07	3,60	19,64	0	0,79	0,64
46	1,75	0,25	81,83	49,62	3,06	3,50	41,20	0	0,65	0,20
92	1,81	0,30	62,00	70,03	3,36	3,52	93,54	0	0,78	0,26
184	1,73	0,30	87,08	117,79	3,39	3,98	186,48	0	0,95	0,33
368	1,74	0,29	76,14	112,49	3,92	3,93	356,09	0	0,91	0,30
Zn		LVA <sub>JP</sub>								
		Ca	Mg	P	K	Cu	Mn	Zn	Cd	Ni
mg dm <sup>-3</sup>	Ca	Mg	P	K	Cu	Mn	Zn	Cd	Ni	Pb
	-- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> --	----- mg dm <sup>-3</sup> -----								
0	2,87	0,59	83,65	119,18	3,62	7,06	0	0	0,16	4,61
23	2,73	0,54	77,74	106,03	4,40	5,74	17,81	0	0,47	4,21
46	2,80	0,58	99,94	134,27	4,43	6,97	46,65	0	0,72	4,74
92	2,93	0,65	84,38	166,93	5,47	7,44	102,79	0	0,88	4,35
184	3,05	0,68	104,13	229,29	3,57	8,03	220,56	0	0,93	4,75
368	2,97	0,67	99,59	210,57	3,41	7,65	407,84	0	0,89	3,99

<sup>1</sup> Para teores no solo de Cd = 0, Pb = 0, Cu = 8 e Ni = 4 mg dm<sup>-3</sup>

Quadro 23 – Teores de elementos minerais e metais Cd e Pb em amostras dos solos<sup>1</sup> LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>, após o cultivo de alface, em função da adição de doses crescentes de Ni

Ni		Solos									
		LVA <sub>TG</sub>									
		Ca	Mg	P	K	Cu	Mn	Zn	Cd	Ni	Pb
mg dm <sup>-3</sup>		-- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> --		----- mg dm <sup>-3</sup> -----							
0		6,08	1,95	67,88	85,71	4,46	2,23	24,00	0	0,06	0,45
4		6,30	2,14	51,64	69,30	4,94	1,97	24,14	0	1,78	0,67
8		6,25	2,17	65,01	58,32	4,24	2,23	24,16	0	3,34	0,31
16		5,80	2,02	60,30	90,13	4,12	1,88	21,57	0	6,40	0,87
32		6,36	2,03	53,64	90,62	4,45	2,20	23,98	0	15,15	1,03
64		6,48	2,08	63,23	92,99	3,97	2,19	21,59	0	30,76	0,77
		LVA <sub>TM</sub>									
		Ca	Mg	P	K	Cu	Mn	Zn	Cd	Ni	Pb
mg dm <sup>-3</sup>		-- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> --		----- mg dm <sup>-3</sup> -----							
0		1,73	0,26	80,54	55,62	3,80	3,30	27,38	0	0	0,17
4		1,73	0,25	76,85	35,67	4,07	3,60	19,64	0	0,79	0,64
8		1,70	0,26	73,09	46,91	3,28	3,36	20,48	0	2,26	0,25
16		1,61	0,23	69,67	48,48	2,88	3,32	21,13	0	6,86	0,14
32		1,66	0,23	68,50	53,95	4,10	3,13	20,14	0	14,49	0,11
64		1,59	0,23	89,94	75,32	3,49	3,76	21,10	0	34,69	0,18
		LVA <sub>JP</sub>									
		Ca	Mg	P	K	Cu	Mn	Zn	Cd	Ni	Pb
mg dm <sup>-3</sup>		-- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> --		----- mg dm <sup>-3</sup> -----							
0		2,86	0,58	82,58	122,73	3,31	6,73	21,68	0	0	4,27
4		2,73	0,54	77,74	106,03	4,40	5,74	17,81	0	0,47	4,21
8		2,84	0,56	89,07	114,90	4,97	7,10	23,11	0	2,90	4,33
16		2,79	0,57	114,37	138,02	4,13	7,00	20,74	0	6,31	4,61
32		2,63	0,56	92,40	117,26	3,59	6,52	19,80	0	14,29	4,04
64		2,94	0,62	64,16	141,35	3,58	7,22	18,65	0	30,38	4,31

<sup>1</sup> Para teores no solo de Cd = 0, Pb = 0, Cu = 8 e Zn = 23 mg dm<sup>-3</sup>

Quadro 24 – Teores de elementos minerais e metais Cd e Pb em amostras dos solos<sup>1</sup> LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>, após o cultivo de feijão, em função da adição de doses crescentes de Cd

Cd		Solos									
		LVA <sub>TG</sub>									
		Ca	Mg	P	K	Cu	Mn	Zn	Cd	Ni	Pb
mg dm <sup>-3</sup>	-- cmolc dm <sup>-3</sup> --	----- mg dm <sup>-3</sup> -----									
0		3,52	1,33	35,78	51,93	3,60	1,34	18,34	0	1,40	0,70
1		5,32	1,76	42,51	67,76	5,43	1,96	22,87	3,52	1,70	0,37
2		4,52	1,55	37,17	35,43	4,95	1,73	24,76	8,43	1,66	1,42
4		5,08	1,86	54,38	37,29	4,77	1,84	26,98	18,60	1,94	0,35
8		4,99	1,57	49,71	36,71	4,52	2,01	28,83	39,87	1,74	0,18
16		5,39	1,74	53,02	39,44	5,65	2,19	28,64	82,64	2,03	1,75
		LVA <sub>TM</sub>									
		Ca	Mg	P	K	Cu	Mn	Zn	Cd	Ni	Pb
mg dm <sup>-3</sup>	-- cmolc dm <sup>-3</sup> --	----- mg dm <sup>-3</sup> -----									
0		1,55	0,59	77,45	49,04	6,81	7,63	27,71	0	2,22	0,09
1		1,29	0,48	97,34	52,14	6,82	7,13	36,32	5,46	2,87	0,11
2		1,32	0,44	75,74	46,38	7,47	6,95	37,56	11,75	2,83	0,10
4		1,33	0,41	79,99	60,60	5,44	5,54	35,16	21,96	2,40	0,17
8		1,35	0,42	91,96	36,85	5,33	5,89	30,18	37,01	2,26	0,17
16		1,20	0,39	80,75	48,97	7,05	6,24	38,25	102,37	3,01	0,13
		LVA <sub>JP</sub>									
		Ca	Mg	P	K	Cu	Mn	Zn	Cd	Ni	Pb
mg dm <sup>-3</sup>	-- cmolc dm <sup>-3</sup> --	----- mg dm <sup>-3</sup> -----									
0		2,41	0,68	94,56	95,55	7,78	9,51	31,52	0	2,57	4,61
1		2,14	0,62	122,24	62,27	7,76	8,87	35,06	6,09	2,66	4,88
2		2,37	0,69	143,64	98,83	8,08	10,44	36,57	13,02	2,89	4,66
4		2,03	0,59	64,81	51,56	6,32	8,13	29,67	22,89	2,08	4,08
8		2,39	0,68	93,81	88,20	6,41	9,69	30,90	45,36	2,38	4,71
16		2,16	0,65	67,81	57,99	7,36	8,63	28,74	89,25	2,24	4,48

<sup>1</sup> Para teores no solo de Pb = 0, Cu = 8, Zn = 23 e Ni = 4 mg dm<sup>-3</sup>

Quadro 25 – Teores de elementos minerais e metais Cd e Pb em amostras dos solos<sup>1</sup> LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>, após o cultivo de feijão, em função da adição de doses crescentes de Pb

Pb		Solos									
		LVA <sub>TG</sub>									
		Ca	Mg	P	K	Cu	Mn	Zn	Cd	Ni	Pb
mg dm <sup>-3</sup>	-- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> --	----- mg dm <sup>-3</sup> -----									
0		3,52	1,33	35,78	51,93	3,60	1,34	18,34	0	1,40	0,70
23		5,94	2,06	62,13	68,44	5,48	2,49	30,60	0	2,16	110,91
46		5,51	1,76	57,24	74,46	3,68	2,06	20,97	0	1,40	152,34
92		5,39	1,71	45,47	61,18	5,64	1,89	31,06	0	2,15	471,11
184		5,07	1,96	52,69	67,38	4,82	2,26	28,08	0	1,89	879,10
368		6,09	2,24	59,97	73,58	5,29	2,68	33,77	0	2,28	1970,08
		LVA <sub>TM</sub>									
		Ca	Mg	P	K	Cu	Mn	Zn	Cd	Ni	Pb
mg dm <sup>-3</sup>	-- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> --	----- mg dm <sup>-3</sup> -----									
0		1,55	0,50	77,45	49,04	6,81	7,63	27,71	0	2,22	0,06
23		1,44	0,38	92,38	58,82	7,69	4,44	36,73	0	2,73	122,95
46		1,45	0,44	97,74	70,84	7,82	6,44	33,47	0	2,69	261,33
92		1,35	0,45	68,18	52,64	7,19	6,47	35,69	0	2,78	498,79
184		1,13	0,37	65,14	44,89	5,46	5,26	28,73	0	2,22	1167,08
368		1,48	0,47	65,12	49,69	8,01	7,92	44,57	0	3,30	2106,38
		LVA <sub>JP</sub>									
		Ca	Mg	P	K	Cu	Mn	Zn	Cd	Ni	Pb
mg dm <sup>-3</sup>	-- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> --	----- mg dm <sup>-3</sup> -----									
0		2,41	0,68	94,56	95,55	7,78	9,51	31,52	0	2,57	4,61
23		2,26	0,64	85,30	67,55	6,74	8,83	30,88	0	2,29	122,49
46		2,03	0,58	104,08	81,42	6,75	8,13	33,36	0	2,55	263,51
92		2,05	0,59	93,22	69,52	6,34	8,17	30,12	0	2,30	481,04
184		2,40	0,64	105,77	89,65	7,85	9,61	37,91	0	2,87	1260,83
368		2,07	0,58	63,17	53,68	5,11	8,41	25,29	0	1,92	1627,23

<sup>1</sup> Para teores no solo de Cd = 0, Cu = 8, Zn = 23 e Ni = 4 mg dm<sup>-3</sup>

Quadro 26 – Teores de elementos minerais e metais Cd e Pb em amostras dos solos<sup>1</sup> LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>, após o cultivo de feijão, em função da adição de doses crescentes de Cu

Cu		Solos									
		LVA <sub>TG</sub>									
		Ca	Mg	P	K	Cu	Mn	Zn	Cd	Ni	Pb
mg dm <sup>-3</sup>	-- cmolc dm <sup>-3</sup> --	----- mg dm <sup>-3</sup> -----									
0		4,18	1,41	41,99	55,94	0,30	1,42	15,36	0	0,87	0
8		3,52	1,33	35,78	51,93	3,60	1,34	18,34	0	1,40	0,70
16		5,65	1,91	48,32	63,08	12,37	2,11	29,96	0	2,09	1,50
32		5,39	1,72	45,10	68,47	22,58	2,14	26,61	0	1,85	0,21
64		4,70	1,75	49,62	57,69	40,83	1,78	26,97	0	1,61	0,36
128		4,71	1,47	61,65	77,90	77,47	1,94	27,88	0	1,92	0,16
		LVA <sub>TM</sub>									
		Ca	Mg	P	K	Cu	Mn	Zn	Cd	Ni	Pb
mg dm <sup>-3</sup>	-- cmolc dm <sup>-3</sup> --	----- mg dm <sup>-3</sup> -----									
0		1,12	0,40	65,90	35,14	0,20	6,05	29,47	0	2,33	0
8		1,55	0,59	77,45	49,04	6,81	7,63	27,71	0	2,22	0
16		1,14	0,36	97,98	40,45	14,51	6,05	31,34	0	2,45	0
32		1,39	0,54	76,80	66,19	22,32	6,31	33,58	0	2,62	0
64		1,11	0,39	50,24	29,32	47,72	7,00	30,10	0	2,26	0
128		1,71	0,53	89,08	72,97	120,53	9,26	40,57	0	2,75	0
		LVA <sub>JP</sub>									
		Ca	Mg	P	K	Cu	Mn	Zn	Cd	Ni	Pb
mg dm <sup>-3</sup>	-- cmolc dm <sup>-3</sup> --	----- mg dm <sup>-3</sup> -----									
0		2,21	0,63	78,87	52,14	0,53	9,28	28,64	0	2,27	4,86
8		2,41	0,68	94,56	95,55	7,78	9,51	31,52	0	2,57	4,61
16		2,02	0,58	124,54	57,42	14,30	8,52	32,31	0	2,37	4,40
32		1,88	0,55	141,00	51,06	20,96	8,26	24,33	0	1,75	3,62
64		1,98	0,56	129,00	65,27	61,69	8,57	36,24	0	2,65	4,38
128		1,97	0,55	114,18	61,24	122,41	8,60	30,27	0	2,17	4,04

<sup>1</sup> Para teores no solo de Cd = 0, Pb = 0, Zn = 23 e Ni = 4 mg dm<sup>-3</sup>

Quadro 27 – Teores de elementos minerais e metais Cd e Pb em amostras dos solos<sup>1</sup> LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>, após o cultivo de feijão, em função da adição de doses crescentes de Zn

Zn		Solos								
		LVA <sub>TG</sub>								
mg dm <sup>-3</sup>	Ca	Mg	P	K	Cu	Mn	Zn	Cd	Ni	Pb
	-- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> --	----- mg dm <sup>-3</sup> -----								
0	3,76	1,41	39,99	39,04	4,90	1,22	0,24	0	1,61	0,34
23	3,52	1,33	35,78	51,93	3,60	1,34	18,34	0	1,40	0,70
46	4,62	1,58	46,13	51,86	3,77	1,72	50,56	0	1,60	0,35
92	5,07	1,67	50,55	50,93	4,67	2,70	117,41	0	1,95	0,46
184	4,92	1,77	51,89	55,51	4,29	1,89	307,24	0	2,04	0,50
368	7,12	2,21	67,00	87,96	5,28	2,80	675,05	0	2,64	1,36
Zn		LVA <sub>TM</sub>								
		Ca	Mg	P	K	Cu	Mn	Zn	Cd	Ni
mg dm <sup>-3</sup>	Ca	Mg	P	K	Cu	Mn	Zn	Cd	Ni	Pb
	-- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> --	----- mg dm <sup>-3</sup> -----								
0	0,84	0,30	87,99	39,17	4,75	4,99	0,31	0	1,81	0
23	1,55	0,59	77,45	49,04	6,81	7,63	27,71	0	2,22	0
46	1,22	0,41	61,47	34,00	6,80	5,94	77,58	0	3,15	0
92	1,26	0,41	96,73	64,52	6,59	6,07	145,15	0	2,84	0
184	1,71	0,53	79,75	63,58	6,10	6,96	269,59	0	2,74	0
368	1,88	0,59	81,87	65,92	7,92	7,49	620,37	0	3,12	0
Zn		LVA <sub>JP</sub>								
		Ca	Mg	P	K	Cu	Mn	Zn	Cd	Ni
mg dm <sup>-3</sup>	Ca	Mg	P	K	Cu	Mn	Zn	Cd	Ni	Pb
	-- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> --	----- mg dm <sup>-3</sup> -----								
0	2,33	0,65	82,83	66,91	5,69	7,60	0,18	0	1,53	4,05
23	2,41	0,68	94,56	95,55	7,78	9,51	31,52	0	2,57	4,61
46	2,11	0,61	95,17	83,89	6,07	8,32	59,77	0	2,37	4,40
92	2,29	0,65	76,29	63,34	6,98	9,33	170,81	0	3,28	4,75
184	2,39	0,66	93,21	161,68	7,44	9,85	306,85	0	3,04	4,47
368	2,22	0,63	103,51	162,30	6,47	9,91	675,69	0	4,20	4,05

<sup>1</sup> Para teores no solo de Cd = 0, Pb = 0, Cu = 8 e Ni = 4 mg dm<sup>-3</sup>

Quadro 28 – Teores de elementos minerais e metais Cd e Pb em amostras dos solos<sup>1</sup> LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>, após o cultivo de feijão, em função da adição de doses crescentes de Ni

		<b>Solos</b>									
<b>Ni</b>	<b>LVA<sub>TG</sub></b>										
	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<b>Zn</b>	<b>Cd</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	
<b>mg dm<sup>-3</sup></b>	<b>-- cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> --</b>		<b>----- mg dm<sup>-3</sup> -----</b>								
0	6,75	2,06	33,12	68,84	3,55	2,26	22,61	0	0,06	0,43	
4	3,52	1,33	35,78	51,93	3,60	1,34	18,34	0	1,40	0,70	
8	5,65	2,04	42,21	51,48	3,92	1,88	21,60	0	3,05	0,05	
16	4,41	1,52	27,63	60,42	4,77	1,67	23,72	0	7,07	0,36	
32	3,83	1,42	46,66	46,86	4,09	1,66	24,40	0	15,71	0,02	
64	5,93	2,14	44,80	57,99	4,02	1,72	21,88	0	29,91	0,20	
		<b>LVA<sub>TM</sub></b>									
<b>Ni</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<b>Zn</b>	<b>Cd</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	
	<b>mg dm<sup>-3</sup></b>	<b>-- cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> --</b>		<b>----- mg dm<sup>-3</sup> -----</b>							
0	1,71	0,55	65,98	45,22	6,41	6,78	34,20	0	0,04	0	
4	1,55	0,59	77,45	49,04	6,81	7,63	27,71	0	2,22	0	
8	2,04	0,57	83,44	68,28	5,35	7,04	26,93	0	4,14	0	
16	1,26	0,40	95,89	74,29	7,85	6,67	35,89	0	11,95	0	
32	0,74	0,30	64,87	62,60	7,65	5,15	38,06	0	25,28	0	
64	0,61	0,32	72,03	62,40	8,20	5,31	38,76	0	54,99	0	
		<b>LVA<sub>JP</sub></b>									
<b>Ni</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<b>Zn</b>	<b>Cd</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	
	<b>mg dm<sup>-3</sup></b>	<b>-- cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> --</b>		<b>----- mg dm<sup>-3</sup> -----</b>							
0	2,04	0,58	75,46	42,24	6,92	8,39	32,27	0	0,06	3,98	
4	2,41	0,68	94,56	95,55	7,78	9,51	31,52	0	2,57	4,61	
8	2,17	0,61	71,58	79,86	4,78	8,51	22,68	0	3,42	4,38	
16	2,05	0,57	94,09	85,43	6,45	8,28	34,25	0	13,36	4,33	
32	2,18	0,62	98,67	105,32	6,75	9,47	32,05	0	21,22	4,90	
64	2,38	0,67	92,14	108,00	6,78	9,41	30,23	0	44,19	4,81	

<sup>1</sup> Para teores no solo de Cd = 0, Pb = 0, Cu = 8 e Zn = 23 mg dm<sup>-3</sup>

Quadro 29 – Conteúdo de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni na parte aérea de plantas de alface, em função das doses de Cd aplicadas aos solos<sup>1</sup> LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>

		<b>Solos</b>				
<b>Cd</b>	<b>LVA<sub>TG</sub></b>					
	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Ni</b>	
mg dm <sup>-3</sup>	----- mg/vaso -----					
0	0,05	1,75	31,15	1063,16	10,56	
1	39,83	0,10	28,22	675,68	5,52	
2	115,76	0,55	29,05	644,47	5,85	
4	212,61	1,12	31,58	632,89	4,00	
8	455,68	1,80	39,82	708,75	9,15	
16	433,97	1,21	18,71	493,01	5,01	
		<b>LVA<sub>TM</sub></b>				
	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Ni</b>	
	----- mg/vaso -----					
0	0,06	0,45	19,35	1524,27	47,44	
1	125,68	0,00	15,06	1461,28	39,73	
2	167,19	0,00	15,42	974,55	31,93	
4	523,55	1,39	15,95	1360,71	42,53	
8	555,35	0,31	11,06	760,53	24,07	
16	435,33	0,86	6,63	555,01	25,23	
		<b>LVA<sub>JP</sub></b>				
	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Ni</b>	
	----- mg/vaso -----					
0	0,00	0,21	20,77	1381,74	25,59	
1	220,71	0,13	26,06	1467,64	30,87	
2	297,60	0,00	24,65	1321,36	24,33	
4	332,17	0,00	15,24	780,96	14,84	
8	355,38	1,07	13,50	523,778	15,97	
16	729,92	0,73	17,79	658,57	18,84	

<sup>1</sup> Para teores no solo de Pb = 0, Cu = 8, Zn = 23 e Ni = 4 mg dm<sup>-3</sup>

Quadro 30 – Conteúdo de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni na parte aérea de plantas de alface, em função das doses de Pb aplicadas aos solos<sup>1</sup> LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>

		<b>Solos</b>				
<b>Pb</b>	<b>LVA<sub>TG</sub></b>					
	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Ni</b>	
mg dm <sup>-3</sup>	----- mg/vaso -----					
0	0,05	1,75	31,15	1063,16	10,56	
23	0,72	2,21	24,25	967,03	9,43	
46	0,13	11,84	16,32	798,51	9,99	
92	0,00	12,41	23,48	673,35	4,75	
184	0,32	20,39	22,52	830,63	13,76	
368	0,18	30,88	22,88	635,39	6,95	
		<b>LVA<sub>TM</sub></b>				
	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Ni</b>	
	----- mg/vaso -----					
0	0,06	0,45	19,35	1524,27	47,44	
23	0,01	10,77	11,13	1235,45	29,39	
46	0,23	41,58	18,64	1294,67	23,35	
92	0,14	87,84	14,01	1060,16	25,50	
184	0,13	205,15	23,84	1664,03	51,47	
368	0,09	302,04	31,12	1595,71	48,14	
		<b>LVA<sub>JP</sub></b>				
	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Ni</b>	
	----- mg/vaso -----					
0	0,00	0,21	20,77	1381,74	25,59	
23	0,40	17,13	23,63	1499,98	27,63	
46	0,86	56,49	23,56	1120,88	11,57	
92	0,70	76,11	16,36	952,59	19,09	
184	0,46	241,78	21,41	1012,82	15,33	
368	0,79	970,65	16,09	958,85	16,39	

<sup>1</sup> Para teores no solo de Cd 0, Cu = 8, Zn = 23 e Ni = 4 mg dm<sup>-3</sup>

Quadro 31 – Conteúdo de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni na parte aérea de plantas de alface, em função das doses de Cu aplicadas aos solos<sup>1</sup> LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>

		<b>Solos</b>				
<b>Cu</b>	<b>LVA<sub>TG</sub></b>					
	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Ni</b>	
mg dm <sup>-3</sup>	----- mg/vaso-----					
0	2,27	0,92	3,49	1191,47	7,09	
8	0,05	1,75	31,15	1063,16	10,56	
16	1,25	1,22	27,86	753,41	4,59	
32	0,08	0,81	37,24	822,08	10,30	
64	0,15	0,82	43,38	1033,20	15,61	
128	0,41	1,51	36,05	680,13	9,37	
		<b>LVA<sub>TM</sub></b>				
	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Ni</b>	
	----- mg/vaso-----					
0	2,62	0,53	3,29	1091,09	17,55	
8	0,06	0,45	19,35	1524,27	47,44	
16	1,66	0,46	25,33	1683,50	52,08	
32	0,45	0,51	24,50	1189,66	33,50	
64	0,65	0,50	38,79	1463,52	46,57	
128	0,12	1,99	24,38	726,56	27,88	
		<b>LVA<sub>JP</sub></b>				
	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Ni</b>	
	----- mg/vaso-----					
0	3,77	0,00	5,68	1539,33	21,65	
8	0,00	0,21	20,77	1381,74	25,59	
16	1,44	0,07	13,10	860,11	7,04	
32	2,13	0,00	32,63	1031,91	11,17	
64	1,11	0,05	44,06	1183,17	18,02	
128	0,70	0,32	53,37	1162,41	22,29	

<sup>1</sup> Para teores no solo de Cd = 0, Pb = 0, Zn = 23 e Ni = 4 mg dm<sup>-3</sup>

Quadro 32 – Conteúdo de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni na parte aérea de plantas de alface, em função das doses de Zn aplicadas aos solos<sup>1</sup> LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>

		<b>Solos</b>				
<b>Zn</b>	<b>LVA<sub>TG</sub></b>					
	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Ni</b>	
mg dm <sup>-3</sup>	----- mg/vaso -----					
0	0,38	0,48	15,95	107,03	9,19	
23	0,05	1,75	31,15	1063,16	10,56	
46	0,14	0,01	15,44	1516,54	8,22	
92	0,11	1,39	12,76	1879,83	4,86	
184	0,40	0,00	6,96	3100,86	10,14	
368	0,16	0,48	1,25	1904,09	2,18	
		<b>LVA<sub>TM</sub></b>				
<b>Zn</b>	<b>LVA<sub>TM</sub></b>					
	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Ni</b>	
mg dm <sup>-3</sup>	----- mg/vaso -----					
0	0,26	1,04	12,35	103,66	27,83	
23	0,06	0,45	19,35	1524,27	47,44	
46	0,09	0,87	18,07	2841,03	45,37	
92	0,10	0,66	6,48	2357,38	21,24	
184	0,13	0,61	4,30	1803,79	4,61	
368	0,01	0,69	1,05	373,56	1,72	
		<b>LVA<sub>JP</sub></b>				
<b>Zn</b>	<b>LVA<sub>JP</sub></b>					
	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Ni</b>	
mg dm <sup>-3</sup>	----- mg/vaso -----					
0	0,25	0,34	16,97	62,10	12,59	
23	0,00	0,21	20,77	1381,74	25,59	
46	1,23	0,11	24,05	2686,65	21,42	
92	0,47	0,31	13,53	2413,19	11,04	
184	0,15	3,69	5,30	1947,03	8,86	
368	0,00	0,48	1,70	638,17	1,28	

<sup>1</sup> Para teores no solo de Cd = 0, Pb = 0, Cu = 8 e Ni = 4 mg dm<sup>-3</sup>

Quadro 33 – Conteúdo de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni na parte aérea de plantas de alface, em função das doses de Ni aplicadas aos solos<sup>1</sup> LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>

		<b>Solos</b>				
<b>Ni</b>	<b>LVA<sub>TG</sub></b>					
	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Ni</b>	
mg dm <sup>-3</sup>	----- mg/vaso -----					
0	0,17	0,46	15,94	754,00	3,21	
4	0,05	1,75	31,15	1063,16	10,56	
8	0,05	0,17	25,07	905,92	16,51	
16	0,08	0,23	11,08	551,57	15,29	
32	0,01	0,66	24,49	772,86	54,17	
64	0,04	2,24	8,59	596,53	195,04	
		<b>LVA<sub>TM</sub></b>				
	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Ni</b>	
	----- mg/vaso -----					
0	0,07	0,70	13,61	1538,49	2,25	
4	0,06	0,45	19,35	1524,27	47,44	
8	0,11	0,31	9,69	1156,21	55,86	
16	0,03	1,11	7,37	1031,06	142,32	
32	0,01	0,00	12,92	1056,47	305,16	
64	0,02	0,00	3,28	529,97	717,86	
		<b>LVA<sub>JP</sub></b>				
	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Ni</b>	
	----- mg/vaso -----					
0	0,39	1,92	20,72	1319,81	8,80	
4	0,00	0,21	20,77	1381,74	25,59	
8	0,22	0,51	26,04	2094,20	67,13	
16	0,24	0,19	20,32	1142,7	65,16	
32	0,26	0,38	12,40	765,30	52,81	
64	0,24	0,88	10,95	618,73	287,55	

<sup>1</sup> Para teores no solo de Cd = 0, Pb = 0, Cu = 8 e Zn = 23 mg dm<sup>-3</sup>

Quadro 34 – Conteúdo de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni nas folhas de plantas de feijão, em função das doses de Cd aplicadas aos solos<sup>1</sup> LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>

		<b>Solos</b>				
<b>Cd</b>	<b>LVA<sub>TG</sub></b>					
	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Ni</b>	
mg dm <sup>-3</sup>	----- mg/vaso-----					
0	0,06	0,18	0,00	80,42	3,55	
1	1,20	0,94	0,00	94,83	3,18	
2	1,17	0,19	0,00	53,68	2,05	
4	2,82	0,28	0,00	56,79	2,05	
8	3,51	0,74	0,00	30,84	1,27	
16	4,88	0,26	0,00	25,27	1,52	
		<b>LVA<sub>TM</sub></b>				
	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Ni</b>	
	----- mg/vaso-----					
0	0,01	1,22	0,93	57,17	10,11	
1	1,04	0,96	0,00	62,82	9,04	
2	2,23	1,14	0,00	99,49	11,55	
4	4,82	0,80	0,00	57,22	12,22	
8	8,87	1,29	0,00	43,49	6,16	
16	10,01	0,74	0,00	29,67	4,91	
		<b>LVA<sub>JP</sub></b>				
	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Ni</b>	
	----- mg/vaso-----					
0	0,01	1,22	0,93	57,17	10,11	
1	1,04	0,96	0,00	62,82	9,04	
2	2,23	1,14	0,00	99,49	11,55	
4	4,82	0,80	0,00	57,22	12,22	
8	8,87	1,29	0,00	43,49	6,16	
16	10,01	0,74	0,00	29,67	4,91	

<sup>1</sup> Para teores no solo de Pb = 0, Cu = 8, Zn = 23 e Ni = 4 mg dm<sup>-3</sup>

Quadro 35 – Conteúdo de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni nas folhas de plantas de feijão, em função das doses de Pb aplicadas aos solos<sup>1</sup> LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>

		<b>Solos</b>				
<b>Pb</b>	<b>LVA<sub>TG</sub></b>					
	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Ni</b>	
mg dm <sup>-3</sup>	----- mg/vaso-----					
0	0,06	0,18	0,00	80,42	3,55	
23	0,03	3,93	0,00	75,88	2,57	
46	0,04	4,64	0,00	56,39	1,79	
92	0,04	4,32	0,00	51,86	1,95	
184	0,04	19,71	0,00	84,95	4,58	
368	0,04	14,48	0,00	100,69	3,48	
		<b>LVA<sub>TM</sub></b>				
	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Ni</b>	
	----- mg/vaso-----					
0	0,01	1,21	0,93	57,17	10,11	
23	0,00	1,49	0,65	69,56	13,56	
46	0,01	1,62	0,29	78,01	8,48	
92	0,00	3,23	0,00	102,28	10,17	
184	0,00	3,25	0,00	114,39	9,00	
368	0,01	16,65	0,00	91,15	9,56	
		<b>LVA<sub>JP</sub></b>				
	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Ni</b>	
	----- mg/vaso-----					
0	0,00	0,17	1,42	91,06	10,53	
23	0,00	1,42	1,73	166,84	11,04	
46	0,00	4,78	1,64	138,04	12,13	
92	0,00	6,43	1,41	133,18	13,09	
184	0,00	11,24	1,78	136,90	14,50	
368	0,00	11,88	1,79	151,17	14,35	

<sup>1</sup> Para teores no solo de Cd 0, Cu = 8, Zn = 23 e Ni = 4 mg dm<sup>-3</sup>

Quadro 36 – Conteúdo de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni nas folhas de plantas de feijão, em função das doses de Cu aplicadas aos solos<sup>1</sup> LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>

		<b>Solos</b>				
<b>Cu</b>	<b>LVA<sub>TG</sub></b>					
	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Ni</b>	
mg dm <sup>-3</sup>	----- mg/vaso-----					
0	0,11	0,08	0,00	76,16	3,29	
8	0,06	0,18	0,00	80,42	3,55	
16	0,08	0,98	1,19	90,44	2,76	
32	0,07	0,52	1,82	73,71	2,38	
64	0,10	0,37	4,07	66,30	1,94	
128	0,12	0,09	6,08	89,18	2,67	
		<b>LVA<sub>TM</sub></b>				
	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Ni</b>	
	----- mg/vaso-----					
0	0,16	1,72	0,00	134,13	15,32	
8	0,01	1,21	0,93	57,17	10,11	
16	0,04	1,12	2,61	138,15	26,28	
32	0,02	1,02	2,90	102,99	13,40	
64	0,02	0,93	6,07	101,88	13,11	
128	0,00	0,90	13,21	114,73	14,83	
		<b>LVA<sub>JP</sub></b>				
	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Ni</b>	
	----- mg/vaso-----					
0	0,00	0,07	0,00	106,23	11,52	
8	0,00	0,17	1,42	91,06	10,53	
16	0,00	0,28	3,89	132,86	13,24	
32	0,00	1,57	6,20	139,58	20,67	
64	0,00	0,26	6,26	87,81	12,91	
128	0,00	0,48	23,83	106,19	11,07	

<sup>1</sup> Para teores no solo de Cd = 0, Pb = 0, Zn = 23 e Ni = 4 mg dm<sup>-3</sup>

Quadro 37 – Conteúdo de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni nas folhas de plantas de feijão, em função das doses de Zn aplicadas aos solos<sup>1</sup> LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>

		<b>Solos</b>				
<b>Zn</b>	<b>LVA<sub>TG</sub></b>					
	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Ni</b>	
mg dm <sup>-3</sup>	----- mg/vaso-----					
0	0,07	0,04	0,00	10,32	2,75	
23	0,06	0,18	0,00	80,42	3,55	
46	0,06	0,21	0,00	275,85	3,36	
92	0,06	0,18	0,00	329,53	3,26	
184	0,04	0,16	0,00	849,06	3,86	
368	0,09	0,25	0,00	1377,62	1,81	
		<b>LVA<sub>TM</sub></b>				
	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Ni</b>	
	----- mg/vaso-----					
0	0,01	0,93	1,47	48,17	9,80	
23	0,01	1,21	0,93	57,17	10,11	
46	0,03	2,24	0,60	406,67	21,58	
92	0,02	0,97	1,08	259,86	10,04	
184	0,02	1,61	1,63	839,20	11,94	
368	0,02	0,83	1,21	890,85	11,32	
		<b>LVA<sub>JP</sub></b>				
	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Ni</b>	
	----- mg/vaso-----					
0	0,00	0,17	1,67	9,13	19,35	
23	0,00	0,17	1,42	91,06	10,53	
46	0,00	0,45	0,96	257,54	12,09	
92	0,00	0,34	1,43	452,99	8,53	
184	0,00	0,47	1,10	626,37	6,14	
368	0,00	0,82	1,20	595,01	5,68	

<sup>1</sup> Para teores no solo de Cd = 0, Pb = 0, Cu = 8 e Ni = 4 mg dm<sup>-3</sup>

Quadro 38 – Conteúdo de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni nas folhas de plantas de feijão, em função das doses de Ni aplicadas aos solos<sup>1</sup> LVA<sub>TG</sub>, LVA<sub>TM</sub> e LVA<sub>JP</sub>

		<b>Solos</b>				
<b>Ni</b>	<b>LVA<sub>TG</sub></b>					
	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Ni</b>	
mg dm <sup>-3</sup>	----- mg/vaso-----					
0	0,07	0,09	0,00	81,20	1,60	
4	0,06	0,18	0,00	80,42	3,55	
8	0,05	0,18	0,00	88,61	4,06	
16	0,03	0,24	0,00	40,10	5,30	
32	0,03	0,20	0,00	52,64	10,26	
64	0,03	0,14	0,00	32,65	16,59	
		<b>LVA<sub>TM</sub></b>				
	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Ni</b>	
	----- mg/vaso-----					
0	0,02	0,30	0,54	110,11	2,69	
4	0,01	1,21	0,93	57,17	10,11	
8	0,01	1,24	0,66	97,27	19,46	
16	0,03	0,57	0,25	51,32	35,48	
32	0,02	0,85	0,28	37,83	43,58	
64	0,00	1,47	0,39	24,45	81,95	
		<b>LVA<sub>JP</sub></b>				
	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Ni</b>	
	----- mg/vaso-----					
0	0,00	0,14	1,14	143,53	1,55	
4	0,00	0,17	1,42	91,06	10,53	
8	0,00	0,34	1,71	75,58	13,89	
16	0,00	0,23	1,32	49,01	24,19	
32	0,00	0,92	1,52	36,91	42,48	
64	0,00	0,68	0,97	23,14	87,70	

<sup>1</sup> Para teores no solo de Cd = 0, Pb = 0, Cu = 8 e Zn = 23 mg dm<sup>-3</sup>