

JULIANA MARIA NOGUEIRA PEREIRA

ABSORÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE CÁDMIO E ZINCO EM
PLANTAS DE ALFACE E CENOURA

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 "*Magister Scientiae*".

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2001

JULIANA MARIA NOGUEIRA PEREIRA

ABSORÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE CÁDMIO E ZINCO EM
PLANTAS DE ALFACE E CENOURA

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 "*Magister Scientiae*".

APROVADA: 12 de Março de 2001

Prof. Júlio César Lima Neves
(Conselheiro)

Prof. Vicente Wagner D. Casali
(Conselheiro)

Prof. Luiz Eduardo Dias

Prof. Ivo Jucksch

Prof. Renildes L. Ferreira Fontes
(Orientador)

À minha família.
Por tudo.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe e ao meu pai (in memorian), cujo apoio foi fundamental para superar todos os obstáculos.

À minha família, em especial, às minhas irmãs e ao meu irmão Jefferson, que sempre estiveram ao meu lado quando precisei.

Aos meus sobrinhos, que amo tanto!

A Marcelo, pela força 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.

À Alessandra, cuja generosidade nunca vou esquecer.

Aos professores Júlio César Lima Neves, Vicente Wagner Dias Casali, Luiz Eduardo Dias e Ivo Jucksch, pela ajuda, orientação e sugestões muito valiosas para conclusão do trabalho.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pelo suporte financeiro sem o qual não seria possível a realização desse trabalho.

Ao Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade dada para realização do Curso de Pós-Graduação.

Aos colegas de Curso.

Aos funcionários do DPS que sempre me ajudaram quando precisei, em especial ao Carlinhos, sempre disposto a realizar o seu trabalho.

A todos que em algum momento contribuíram, direta ou indiretamente, para a conquista dessa vitória.

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 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 Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas no Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa.

ÍNDICE

RESUMO	viii
ABSTRACT	x
1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 – Cádmio	2
1.1.1 – Fatores que influenciam o cádmio no solo	2
1.1.2 – O cádmio na planta	3
1.2 – Zinco	4
1.2.1 – Fatores que influenciam o zinco no solo	4
1.2.2 – O zinco na planta	6
1.3 – Objetivo	8
2 – MATERIAL E MÉTODOS	9
2.1 – Correção, adubação básica do solo e aplicação dos tratamentos	9
2.2 – Experimento com alface	11
2.3 – Experimento com cenoura	11
2.4 – Análise do tecido vegetal	12
2.5 – Delineamento experimental e análise estatística	12
3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
3.1 – Efeito do cádmio nas variedades de alface	13
3.1.1 – Produção de matéria seca	13
3.1.2 – Absorção e distribuição do cádmio nas plantas	14
3.2 – Efeito do zinco nas variedades de alface	21

3.2.1 – Produção de matéria seca	21
3.2.2 – Absorção e distribuição do zinco nas plantas	24
3.3 – Efeito do cádmio nas variedades de cenoura	29
3.3.1 – Produção de matéria seca	29
3.3.2 – Absorção e distribuição do cádmio nas plantas	31
3.4 – Efeito do zinco nas variedades de cenoura	34
3.4.1 – Produção de matéria seca	34
3.4.2 – Absorção e distribuição do zinco nas plantas	36
3.5 – Composição mineral das plantas de alface e cenoura	38
4 – CONCLUSÕES	41
5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
6 – APÊNDICE	45

RESUMO

PEREIRA, Juliana Maria Nogueira, M.S., Universidade Federal de Viçosa, março de 2001. **Absorção e distribuição de cádmio e zinco em plantas de alface e cenoura.** Orientador: Renildes Lúcio Ferreira Fontes. Conselheiros: Júlio César Lima Neves e Vicente Wagner Dias Casali.

Objetivando estudar a absorção de cádmio e zinco e respectiva distribuição em plantas de alface e cenoura, conduziu-se oito experimentos em casa de vegetação, onde as variedades comerciais de alface (Mimosa e Regina de Verão) e cenoura (Brasília e Nantes), foram submetidas a doses crescentes de cádmio (0, 0,4, 1,6, 3,2 e 9,6 mg dm⁻³) e zinco (0, 2, 6, 18 e 36 mg dm⁻³), em vaso contendo 2,5 dm³ de amostras de um Latossolo Vermelho-amarelo, textura média. Adicionou-se corretivo (CaCO₃:MgCO₃, na proporção 4:1) para elevar o pH em H₂O a 5,8 e fertilização básica com macro e micronutrientes, exceto o zinco. A alface foi coletada após 44 dias de crescimento no vaso com os tratamentos e a cenoura após 57 dias. Os tratamentos foram dispostos no delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições. Após análise química do material vegetal, foram determinados os teores e conteúdos de P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn e Cd na parte aérea e raiz. As produções de matéria seca (MS) da parte aérea e de raízes das variedades de alface decresceram com o aumento das doses de Cd estudadas. A produção de matéria seca total da 'Regina de Verão' foi maior que da 'Mimosa'. A concentração de Cd na parte aérea das variedades de alface decresceu com o aumento das doses de Cd em

magnitude semelhante. Nas raízes, contudo, o decréscimo foi maior na 'Mimosa'. A absorção e distribuição do Cd são diferenciadas entre as variedades de alface, ocorrendo maior absorção e translocação para a parte aérea na variedade Regina de Verão. A adição de Zn não influenciou a produção de MS da parte aérea, diminuindo, contudo, a MS da raiz na 'Regina de Verão'. Os teores de Zn encontrados na parte aérea das variedades de alface, muito maiores do que o limite considerado tóxico na maioria das culturas e a ausência de efeito prejudicial sobre a produção de MS, indicam que as duas variedades de alface estudadas são tolerantes a altas concentrações do elemento. Na cenoura não foi observado efeito do Cd e Zn sobre a produção de matéria seca da parte aérea e das raízes em nenhuma das variedades. Houve maior absorção e translocação dos elementos para a parte aérea em resposta à sua adição às amostras de solo. Quanto ao Zn, a resposta das variedades com relação à absorção e transporte do elemento para a parte aérea foi diferenciado, indicando a presença de mecanismos específicos atuando na sua absorção e transporte.

ABSTRACT

PEREIRA, Juliana Maria Nogueira, M.S., Universidade Federal de Viçosa, March 2001. **Absorption and distribution of cadmium and zinc in plants of lettuce and carrot.** Adviser: Renildes Lúcio Ferreira Fontes. Committee members: Júlio César Lima Neves and Vicente Wagner Dias Casali.

Eight experiments were carried out in greenhouse to evaluate the absorption and distribution of cadmium and zinc in plants of lettuce (cultivars Mimosa and Regina de verão) and carrots (Cultivars Brasília and Nantes). Plant seedlings were exposed to 0, 0.4, 1.6, 3.2 and 9.6 mg dm⁻³ Cd and 0, 2, 6, 18 and 36 mg dm⁻³ Zn in 2.5 dm³ plastic jars containing a medium texturized red-yellow Latossol. Soil was limed with CaCO₃ and MgCO₃ (4:1), to raise the pH to 5.8, and fertilized with macro and micronutrientes except Zn. Lettuce was collected at the 44th day of growth in the jars and carrot at the 57th day. Treatments were set in a randomized block design with four replications. Plant samples were analyzed for determination of P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn and Cd in roots and shoots. Dry matter (DM) yield of roots and shoots in lettuce cultivars decreased with the increase of Cd. The total dry matter production in Regina de Verão cultivar was higher than in Mimosa cultivar. Cadmium concentration in the shoots decreased similarly in both lettuce cultivars whereas in roots the decrease was higher in the Mimosa cultivar. Absorption and distribution of Cd was differentiated between the lettuce cultivars. Absorption and translocation of Cd from roots to shoots were higher in the Regina de Verão

cultivar. Zinc did not alter the dry matter production of 'Regina de Verão' shoots, but did it in roots. There was no detrimental effect of Zn in the DM production of the lettuce cultivars even when the Zn concentrations in shoots were much higher than the critical levels for toxicity in plants. This suggests that the lettuce cultivars studied are tolerant to high concentrations of Zn. In carrots there was no effect of Cd or Zn in the DM production of roots and shoots for the two cultivars. As the Cd dose was increased in the soil, there was increase in absorption and translocation of Cd in both carrot cultivars. Transport of Cd and Zn from roots to shoots was preferential in the carrot cultivars. The differential response of the cultivars related to absorption and translocation of Zn in the plants indicates the presence of mechanisms that control their occurrence in plants.

1. INTRODUÇÃO

A presença de elementos químicos, mais conhecidos como metais pesados nos resíduos industriais, no lixo urbano e até mesmo em fertilizantes e corretivos tem causado crescente preocupação quanto à possibilidade da entrada desses elementos no sistema solo-planta em solos agrícolas e conseqüentemente na cadeia trófica. Com a utilização desses resíduos nos cultivos, principalmente do composto de lixo urbano, cujo uso aumenta a cada dia, tem crescido a possibilidade desses metais entrarem na cadeia trófica, podendo causar prejuízo à saúde humana e também à dos animais.

A dose diária admitida para o Cd seria de 0,007 a 3,0 mg; a tóxica estaria em torno de 30 a 300 mg e a letal seria de 1,5 a 9,0 g. A massa total do elemento seria de 50 mg em uma pessoa de 70 kg. A absorção diária estimada, em alimentos, é de 39 µg. O nível de 200 µg é considerado perigoso para o ser humano. No caso do Zn, a dose permitida varia de 5 a 40 mg, entre 150 e 600 mg, é considerada tóxica e a letal a partir de 6 g. A massa total do elemento, para uma pessoa de 70 kg, é em média 2,3 g (PAIS e JONES Jr., 2000).

A expressão “metais pesados” se refere a elementos com peso específico maior que 5 g cm^{-3} ou que possuem número atômico maior que 20. A expressão engloba metais, semi-metais e mesmo não metais, como o selênio. Também são denominados “elementos traços” ou “metais traços”. Na lista de metais pesados encontram-se os seguintes elementos: Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, Co, Ni, V, Al, Ag, Cd, Cr, Hg e Pb (MALAVOLTA, 1994).

Alguns elementos classificados como metais pesados são também essenciais às plantas, como o Fe, Cu, Mn, Zn. Esses elementos, quando presentes em altas concentrações, podem ser tóxicos (Fellenberg (1980), citado por NASCENTES, 1998). Mas, de acordo com FOY et al. (1978), embora qualquer metal pesado, em concentrações elevadas, possa causar toxicidade às plantas, apenas alguns têm originado fitotoxicidade, quando presentes nos solos. A absorção desses metais pesados pelas plantas pode ser afetada por vários fatores, como as condições de acidez ou alcalinidade do solo, as formas de localização dos fertilizantes, além das características de mobilidade de cada metal no solo e na planta.

1.1 – Cádmi

1.1.1 – Fatores que influenciam o cádmio no solo

O teor médio de Cd na litosfera é estimado em $0,2 \text{ mg kg}^{-1}$, sendo que a faixa para solos varia de $0,01$ a $0,7 \text{ mg kg}^{-1}$ (LINDSAY, 1979). Os principais poluentes de cádmio no solo são as atividades industriais e metalúrgicas, a queima de combustíveis-fósseis e os rejeitos industriais e urbanos (WILLIAMS e DAVID, 1976).

Normalmente, o conteúdo de Cd no solo é influenciado pelo tipo de rocha de origem, sendo que alta concentração de Cd é relatada em rochas sedimentares (SRIVASTAVA e GUPTA, 1996). Conforme esses autores, alguns fatores que podem alterar a retenção e disponibilidade do Cd no solo são os minerais de argila, pH, matéria orgânica, sesquióxidos de Fe e Al.

De acordo com ALLOWAY (1990), o teor de Cd na maioria das rochas fontes dos fertilizantes fosfatados é relativamente alto, sendo que a utilização desses fertilizantes na agricultura é uma das principais causas da contaminação dos solos por esse elemento.

A presença de outros elementos destaca-se como importante fator regulador da absorção de cádmio pelas plantas. O efeito antagônico existente entre o Ca e o Cd já foi comprovado em vários estudos e segundo GÁRATE et al. (1992) seria devido à competição entre esses elementos pelos mesmos sítios de absorção da membrana plasmática existente nas raízes devido à similaridade existente entre os raios iônicos do Ca^{2+} ($0,99 \text{ \AA}$) e do Cd^{2+}

(0,97 Å). De acordo com esses autores, os mecanismos utilizados pela planta para reduzir a toxicidade do cádmio seriam a competição existente entre o Ca e o Cd pelo transporte através das membranas plasmáticas e a proteção, pelo Ca, dos espaços livres no interior da célula.

É relatada também a interação entre Cd e Zn, que pode ser sinérgica ou antagônica, dependendo da relação Cd:Zn. O efeito sinérgico existe quando essa relação é baixa, assim devido à competição do Zn pelos sítios de fixação de Cd no solo, ocorre aumento na solubilidade deste último resultando em sua translocação para as raízes das plantas. Contrariamente, em alta relação Cd:Zn, o Cd interfere tanto na absorção como na translocação do Zn pelas plantas (SRIVASTAVA e GUPTA, 1996). Esta relação entre o Cd e o Zn é importante, uma vez que muitos fertilizantes que apresentam em sua formulação elevadas concentrações de zinco têm altos teores de cádmio (MALAVOLTA, 1994).

1.1.2 – O cádmio na planta

O Cd é o metal mais móvel na planta, sendo mais tóxico que o chumbo, representando grande perigo por ser facilmente acumulado na planta e podendo a partir dela, mover-se por meio dos vários níveis tróficos da cadeia alimentar (WONG et al., 1984).

Um dos sintomas da toxicidade de metais em plantas, particularmente do Cd, é a clorose característica de deficiência de ferro, causada pela competição entre o Fe e Cd pelo mesmo sítio de absorção na membrana plasmática (FOY et al., 1978). De acordo com esses autores, a clorose, por excesso de Zn, Cu e Cd, pode ser resultante da interferência direta ou indireta sobre o ferro foliar, pois a aplicação de FeSO_4 às folhas atenua a clorose.

WONG et al. (1984) verificaram reduzida translocação de ferro para as folhas de plantas de *Brassica chinensis* crescidas em altas concentrações de Cd, o que provavelmente foi a causa da clorose nelas observadas. ROOT et al. (1975) sugerem que a clorose induzida por Cd em plantas de milho pode ser devida às alterações na relação Fe/Zn, e não propriamente à deficiência de Fe, visto que nas plantas tratadas com Cd houve maior concentração de Fe. NASCIMENTO et al. (1998) observaram nas raízes de

dois cultivares de milho (*Zea mays* L.) um aumento na concentração de Fe e decréscimo na translocação à parte aérea, com o aumento das doses de Cd na solução.

Maior acúmulo de Cd nas raízes do que na parte aérea foi observado em alface (COSTA et al., 1994), feijão (GUO e MARSCHNER, 1995) e soja (OLIVEIRA et al., 1994a). GÁRATE et al. (1992) em três variedades da espécie *Lactuca*, em solução nutritiva, verificaram maior concentração de Cd nas raízes alcançando 1.300 mg kg^{-1} de Cd, não havendo redução no peso seco das raízes nem no crescimento ou na produtividade das plantas. Em outros trabalhos, raízes e parte aérea de plantas que receberam Cd diminuíram os pesos fresco e seco (JURADO, 1989; OLIVEIRA et al., 1994a e PRASAD, 1995a); assim como os conteúdos de clorofila e carotenóides, as suas taxas de absorção líquida de CO_2 e transpiração, além da eficiência de uso da água e sua condutância estomatal (OLIVEIRA et al., 1994b e PRASAD, 1995b).

KABATA-PENDIAS e PENDIAS (1992) generalizaram a faixa de concentração de Cd na matéria seca, em diversas espécies de plantas adultas, de $0,05$ a $0,2 \mu\text{g g}^{-1}$, como tolerável e de 5 a $30 \mu\text{g g}^{-1}$, como tóxica.

1.2 – Zinco

1.2.1 – Fatores que influenciam o zinco no solo

Os solos brasileiros, de maneira geral, são pobres em zinco devido ao material de origem, uma vez que este elemento tem como fonte primária, minerais ferro-magnesianos que estão relacionados com rochas básicas, e a maioria dos solos do Brasil são formados a partir de rochas ácidas e, ou, sedimentares (CHESWORTH, 1991).

A quantidade total de Zn no solo é distribuída entre as seguintes formas: íons livres (Zn^{2+}) e complexos organo-zinco presentes na solução do solo; Zn adsorvido ou na forma trocável na fração coloidal do solo; Zn ligado a minerais de argila, compostos húmicos e hidróxidos de Fe e Al; Zn em minerais secundários e complexos insolúveis na fase sólida do solo. A distribuição de zinco entre estas formas é governada pela constante de equilíbrio de reações que envolvem esse elemento: precipitação e dissolução, complexação e descomplexação, adsorção e dessorção (ALLOWAY, 1990). Assim, ainda

segundo esse autor, a disponibilidade de Zn é dependente de: concentração de zinco e outros íons na solução do solo, tipo e quantidade de sítios de adsorção associados com a fase sólida do solo, concentração de outros ligantes capazes de formar complexos organo-zinco, pH e potencial redox do solo. Portanto, valores de pH, teores de argila, fósforo, carbono orgânico e óxidos de ferro, alumínio e manganês influenciam a disponibilidade de zinco para as plantas.

A atividade do zinco em solução é altamente dependente do pH do solo. LINDSAY (1979) cita que, a cada aumento de uma unidade de pH na faixa de 4 a 10, a solubilidade de Zn no solo decresce cerca de 100 vezes. Mostra também que o Zn^{2+} predomina em solução quando o pH do solo está abaixo de 7,7. Acima desse valor, a forma predominante é o $ZnOH^+$, o que aumenta a adsorção às cargas negativas do solo pela diminuição do raio hidratado.

Algumas atividades antropogênicas podem propiciar a elevação da quantidade de zinco no ambiente, fazendo-o atingir, freqüentemente, níveis tóxicos. Dentre os locais mais sujeitos a altas concentrações desse elemento estão aqueles destinados a receberem resíduos industriais e lodo de esgoto. Outras fontes de zinco no solo são os fertilizantes e os agrotóxicos aplicados nas lavouras (CUNHA, 1989).

O conhecimento das frações em que há a distribuição do zinco nos constituintes ativos e na solução do solo é fundamental no entendimento da química desse elemento (MURTHY, 1982). A intensidade com que determinado constituinte do solo reage com o zinco, interferindo em sua mobilidade, assume relevante importância na nutrição das plantas, bem como no controle da presença de Zn em solos e águas subterrâneas (CUNHA, 1989).

A maior parte do zinco encontra-se na estrutura cristalina de minerais ferromagnesianos dos solos, como a augita, a hornblenda e a biotita, podendo ocorrer também em octaedros de alumínio das argilas. Encontra-se também alta proporção do zinco em forma trocável na argila, na matéria orgânica e adsorvida em superfícies sólidas. Por isso a matéria orgânica, os óxidos de ferro e alumínio e os minerais de argila influem na retenção do zinco no solo (MALAVOLTA, 1980).

Dos vários mecanismos envolvidos no processo de adsorção, como força de Van der Waals, atração eletrostática, adsorção química, ligação por

ponte de hidrogênio e formação de complexo de coordenação, dois ou mais mecanismos podem estar operando simultaneamente, dependendo das espécies envolvidas (adsorvente e adsorbato), da natureza da troca catiônica, da acidez superficial e o teor de água no sistema (MUNIZ, 1995). O processo de adsorção é de grande importância na interação solo-nutriente. Este consiste na concentração de uma substância química na interface, que pode ser, entre, sólido e líquido, gás e líquido, sólido e gás, líquido e líquido.

Pelo fato de ser essencial a todas as formas de vida, todos os tipos de matéria orgânica e biorresíduos contém zinco que será liberado durante a decomposição e estará disponível às plantas e outros organismos do solo.

Vários estudos têm demonstrado a interação do zinco com outros nutrientes. A interação Zn x P tem sido alvo de atenção, pois sabe-se que aplicações maciças de fertilizantes fosfatados em solos com baixos teores de Zn podem induzir sua deficiência. Diversos autores afirmam que os problemas gerados pela interação ocorrem no solo, onde a disponibilidade e a taxa de difusão de Zn são reduzidas pelo suprimento de P. Outros, no entanto, asseguram que esta interferência ocorre no interior da planta, alterando os processos metabólicos (MARSCHNER, 1995).

1.2.2 - O zinco na planta

O zinco 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 zinco provavelmente complexado com solutos orgânicos de baixo peso molecular (KOCHIAM, 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 (Vallee e Auld (1990), citados por MARSCHNER, 1995).

O zinco é importante componente de vários sistemas enzimáticos que regulam diversas atividades do metabolismo das plantas, estando relacionado com o metabolismo normal do carbono. É componente de enzimas que tomam

parte em aspectos específicos do metabolismo de proteínas, sendo necessário na formação das auxinas, que são reguladores de crescimento (MALAVOLTA, 1980).

A deficiência de zinco é comum em plantas que crescem em solos originários de rochas ácidas ou em solos calcáreos. Os sintomas mais característicos da deficiência em dicotiledôneas são o crescimento estorvado, 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).

Em grande suprimento de Zn, a toxidez pode ocorrer em plantas não tolerantes, causando inibição da alongação da raiz (RUANO et al., 1988). Freqüentemente, a toxidez de Zn leva à clorose em folhas jovens, o que pode ser sintoma de deficiência induzida, por exemplo, de Mg ou Fe, devido aos raios iônicos similares do Zn com esses dois elementos (Woolhouse (1983) e Boardman e Macguire (1990), citados por MARSCHNER, 1995).

Teores variando de 15 a 20 $\mu\text{g g}^{-1}$, em folhas por peso seco, são considerados deficientes (MARSCHNER, 1995), e concentrações, segundo PAIS e JONES Jr. (2000) variando de 10 a 100 mg kg^{-1} em plantas, estariam dentro da faixa ótima da maioria das culturas. Os níveis tóxicos críticos em folhas de plantas estão entre 100 e $> 300 \mu\text{g g}^{-1}$ de Zn na matéria seca (MARSCHNER, 1995).

A tolerância das plantas ao Zn é alcançada, principalmente, através da retenção nos vacúolos. Assim, em clone não tolerante de *Deschampsia caespitosa*, há acumulação preferencial no citoplasma, já no tolerante, a concentração do Zn no citoplasma é baixa, havendo retenção nos vacúolos (MARSCHNER, 1995).

Em populações tolerantes, a acumulação de ácidos orgânicos (malato e citrato) e a acumulação de zinco estão correlacionadas positiva e estreitamente. Isso indica que a complexação de Zn com esses ácidos no vacúolo, em muitos casos, é mecanismo importante de tolerância (GODBOLD et al., 1984).

Existe o consenso geral que fitoquelatinas não desempenham nenhum papel na tolerância ao Zn (ROBINSON, 1990; DAVIES et al., 1991). A tolerância em tecidos não vacuolados e meristemáticos, tais como ápices de raízes, seria devido à atuação de outros mecanismos, como a retenção de Zn por fitato (Van STEVENINCK et al. 1987b).

1.3 – Objetivo

Com base no que foi exposto, esse trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a absorção e distribuição dos metais cádmio e zinco em plantas de alface (*Lactuca sativa* L.) e cenoura (*Daucus carota* L.), cultivadas em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo textura média, submetidas a doses crescentes dos elementos em estudo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 – Correção, adubação básica do solo e aplicação dos tratamentos

Conduziram-se, simultaneamente, oito experimentos em casa de vegetação. Cada experimento foi formado por 1 elemento (Cd ou Zn), 5 doses desse elemento, 1 variedade de alface ou cenoura com 4 repetições. Utilizaram-se amostras de solo coletadas de 0 a 20 cm de profundidade, oriundas do município de João Pinheiro – MG, (Latosolo Vermelho-Amarelo textura média). Após coletada, a amostra foi seca ao ar e passada em peneira com malha de 4 mm de abertura, sendo caracterizada química e fisicamente (Quadro 1).

Calculou-se a necessidade de corretivo para elevar o pH em água a 5,8, segundo curva de incubação. Em amostras de 2,5 dm³ de solo, que encontravam-se dentro de sacos plásticos, aplicou-se a mistura de CaCO₃:MgCO₃ na proporção 4:1, em moles. Os sacos plásticos foram colocados em vasos de polietileno de 3 dm³, mantendo-se a umidade próxima à capacidade de campo por 25 dias.

No dia anterior ao transplante das mudas de alface e sementeira da cenoura foram aplicados as doses de cádmio (0; 0,4; 1,6; 3,2 e 9,6 mg dm⁻³) e zinco (0; 2,0; 6,0; 18,0 e 36,0 mg dm⁻³); a adubação básica de micronutrientes (exceto zinco), segundo o nível desejado de cada hortaliça e a adubação dos macronutrientes, adicionando-se os seguintes elementos por dm³ de solo: 60 mg

de N e 88 mg de P para as duas espécies, 50 e 150 mg de K, para a alface e cenoura, respectivamente. Utilizaram-se os seguintes sais: $\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, NH_4NO_3 , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ e K_2SO_4 . Todos os elementos foram aplicados na forma de solução.

Quadro 1 – Características químicas e físicas da amostra do solo utilizado no experimento

Características	Valor
pH em água (1:2,5)	5,16
Carbono Orgânico (dag kg^{-1}) ¹	1,00
P (mg dm^{-3}) ²	0,93
K (mg dm^{-3}) ²	23,00
Al ³⁺ (cmolc dm^{-3}) ³	1,80
Ca ²⁺ (cmolc dm^{-3}) ³	0,02
Mg ²⁺ (cmolc dm^{-3}) ³	0,23
H + Al (cmolc dm^{-3}) ⁴	4,76
Soma de bases (cmolc dm^{-3})	0,31
CTC efetiva (cmolc dm^{-3})	2,13
CTC a pH 7,0 (cmolc dm^{-3})	5,07
Saturação de bases (%)	6,17
Saturação de Al (%)	85,19
Cd (mg dm^{-3}) ²	0,00
Fe (mg dm^{-3}) ²	33,10
Zn (mg dm^{-3}) ²	0,26
Cu (mg dm^{-3}) ²	0,59
Mn (mg dm^{-3}) ²	5,00
Areia grossa (%) ⁵	36
Areia fina (%) ⁵	29
Silte (%) ⁵	7
Argila (%) ⁵	28
Classe textural	Franco argilo-arenoso
Capacidade de Campo (%) ⁶	10,28

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

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

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

4/ Extrator Ca(OAc)₂ 0,5 mol.L⁻¹, pH 7,0

5/ Método da Pipeta (EMBRAPA, 1997)

6/ Método do Aparelho Extrator de Richards (EMBRAPA, 1997)

2.2 - Experimento com alface

A semeadura das variedades da alface Mimosa e Regina de Verão, foi feita em bandejas, utilizando-se como substrato a mistura comercial Plantmax. Realizou-se o transplante 21 dias após a semeadura, colocando-se três mudas por vaso e fazendo-se o desbaste após 10 dias deixando-se uma planta. Durante o ciclo da cultura, a umidade do solo foi mantida próxima à capacidade de campo com água deionizada.

A colheita foi feita aos 44 dias após o transplante, cortando-se as plantas rente ao solo, separando a parte aérea em folhas superiores e caule (FS) e em oito folhas inferiores (FI) para determinação do peso da matéria fresca. Em seguida o material foi colocado para secar em estufa de ventilação forçada a 70°C até peso constante, sendo então determinado o peso da matéria seca.

As raízes foram retiradas dos vasos e separadas do solo por peneiramento seguido de lavagem em água corrente. Após a lavagem foram deixadas imersas por aproximadamente 24 horas em água deionizada. Após esse período foram lavadas novamente com água deionizada, secadas com papel toalha, sendo determinado o peso da matéria fresca. Após a secagem em estufa de circulação forçada a 70°C, realizou-se determinação do peso da matéria seca e a trituração em moinho tipo Willey, peneira de 16 mesh, obtendo-se as amostras utilizadas nas análises químicas.

2.3 – Experimento com cenoura

A semeadura da cenoura, variedades Brasília e Nantes foi feita diretamente nos vasos dois dias após a aplicação da adubação e dos tratamentos.

Foram utilizadas aproximadamente 15 sementes por vaso. Em seguida colocou-se cobertura morta, de maneira a garantir melhor germinação. Após 15 dias, o desbaste foi efetuado procurando manter a maior homogeneidade possível entre as plantas, permanecendo uma planta por vaso.

A umidade do solo foi mantida próxima à capacidade de campo com água deionizada durante todo o período de condução do experimento.

Aos 57 dias após a semeadura foi feita a coleta das plantas, sendo separada a parte aérea da raiz, para determinação do peso da matéria fresca. A preparação do material vegetal para determinação do peso seco e caracterização química seguiram os mesmos procedimentos adotados para o cultivo com alface.

2.4. – Análise do tecido vegetal

Porções de 0,5 g de amostras do tecido vegetal foram mineralizadas pela mistura nítrico-perclórica para determinação dos teores de Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Cd e Zn, por espectrofotometria de absorção atômica; P, por colorimetria, utilizando o método da vitamina C (BRAGA e DEFELIPO, 1974) e K, por fotometria de emissão de chama.

2.5– Delineamento experimental e análise estatística

Para cada experimento adotou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, sendo os tratamentos dispostos no esquema 1 x 5 x 1, formado por 1 elemento, 5 doses do elemento e 1 variedade, com 4 repetições, totalizando 20 unidades experimentais.

Cada unidade experimental consistiu de um vaso contendo 2,5 dm³ de solo com uma planta de alface ou cenoura. A avaliação dos tratamentos foi feita por meio da análise de variância e análise de regressão de cada variável em função das doses do elemento em estudo. Efetuaram-se as análises utilizando-se o *software* SAEG (Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas) da Universidade Federal de Viçosa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Efeito do cádmio nas variedades de alface

3.1.1. Produção de matéria seca

A 'Regina de Verão' apresentou maior produção de matéria seca (MS) do que a 'Mimosa', tanto nas folhas superiores (FS) quanto nas raízes (RA). Nas FI, a 'Mimosa' produziu maior quantidade de MS do que a 'Regina de Verão'. A variedade Regina de Verão produziu maior matéria seca total (MST) do que a 'Mimosa' (Quadro 2). A produção de MS das FI da variedade Mimosa seguiu o modelo raiz quadrada e das FS o exponencial, enquanto na 'Regina de Verão' foi o modelo exponencial para FS e FI (Figura 1), assim como para a produção de matéria seca das raízes e total (Figura 2), ocorrendo uma redução na produção de MS com o aumento da concentração de Cd.

Com o aumento das doses de Cd aplicadas ao solo, a produção de MST da parte aérea foi reduzida em 47 e 51%, na 'Mimosa' e 'Regina de Verão', respectivamente, comparando-se as plantas cultivadas na presença de $9,6 \text{ mg dm}^{-3}$ de Cd, com as testemunhas (ausência de Cd). Essa redução, para as raízes, foi 51% na 'Mimosa' e 37% na 'Regina de Verão'. SALVIANO (1999) encontrou reduções de 30 a 45% na produção de MS da parte aérea em plantas de fumo (*Nicotiana tabacum* L.), na dose $0,4 \text{ mg L}^{-1}$ de Cd em solução.

De acordo com MACNICOL e BECKETT (1985), 43 a 67 mg kg^{-1} de Cd na matéria seca causaram redução de 10% na produção de MS de folha em

alface após 56 dias de cultivo em solo, sendo que esse valor poderia variar de 25 a 95 mg kg⁻¹, dependendo das condições experimentais, como ciclo de cultivo, parte da planta analisada, pH do solo e da solução nutritiva. Neste trabalho, 8 µg g⁻¹ de Cd nas folhas superiores da alface ‘Mimosa’ causou redução de aproximadamente 20% na produção de MS. Para a alface ‘Regina de Verão’, redução da mesma ordem demandou uma concentração foliar de 19 µg g⁻¹. Essa redução ocorreu quando a concentração do elemento no solo foi 0,4 mg dm⁻³ nas duas variedades, indicando que a alface é muito sensível à presença de Cd no solo.

Quadro 2 - Matéria seca (MS) de folhas superiores (FS), folhas inferiores (FI), raízes (RA) e total (MST), de plantas de alface colhidas após 44 dias de crescimento, em amostras do LV submetidas a doses crescentes de cádmio (Cd)

<i>Cd</i>	<i>Matéria Seca</i>							
	<i>Mimosa</i>				<i>Regina de Verão</i>			
	<i>FS</i>	<i>FI</i>	<i>RA</i>	<i>MST</i>	<i>FS</i>	<i>FI</i>	<i>RA</i>	<i>MST</i>
mg dm ⁻³	g							
0,0	4,53	1,86	1,04	7,43	8,52	1,03	2,19	11,74
0,4	3,77	1,43	0,77	5,97	6,49	0,97	2,11	9,57
1,6	3,57	1,26	0,83	5,66	7,27	0,93	2,27	10,47
3,2	3,25	1,27	0,85	5,37	5,46	0,80	1,93	8,19
9,6	2,32	1,08	0,51	3,91	4,07	0,63	1,37	6,07

3.1.2. Absorção e distribuição de cádmio nas plantas

As concentrações de Cd nas FS e FI da ‘Regina de Verão’ foram maiores que na ‘Mimosa’, ocorrendo o inverso com relação às raízes (Quadro 3). Isso ocorreu, provavelmente, devido à retenção de solo às raízes dessa alface. Por apresentar sistema radicular mais frágil, a lavagem das raízes não removeu completamente o resíduo de solo. Esse fato não ocorreu na alface ‘Regina de Verão’, que possuía sistema radicular bem desenvolvido o que possibilitou separação mais eficiente das raízes.

Houve maior absorção de Cd pela ‘Regina de Verão’ (Quadro 4). Resultado favorecido, provavelmente, pelo sistema radicular mais desenvolvido e com maior número de sítios de absorção dessa variedade.

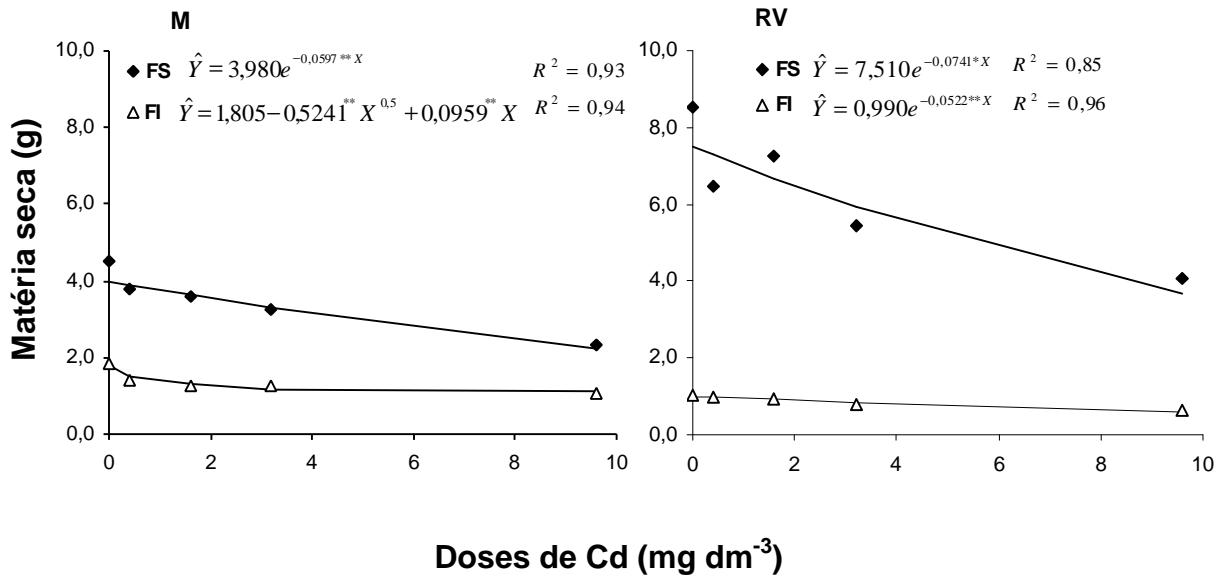


Figura 1 – Produção de matéria seca das folhas superiores (FS) e folhas inferiores (FI), de duas variedades de alfaca (Mimosa – M e Regina de Verão – RV), em função das concentrações de Cd em amostras do LV.

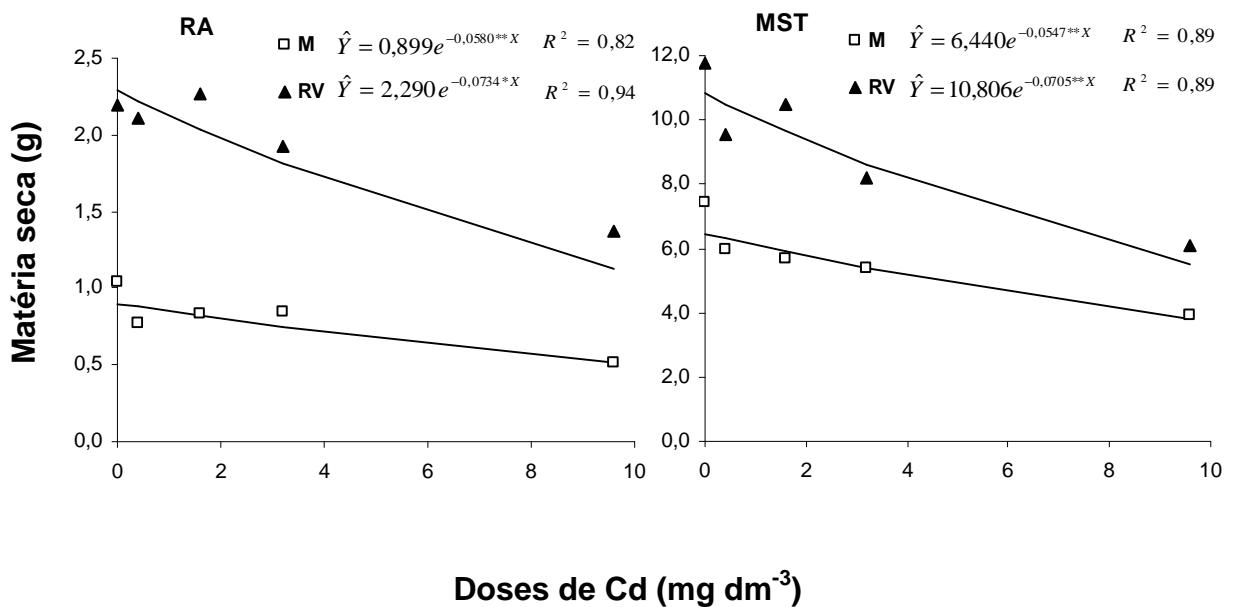


Figura 2 – Produção de matéria seca das raízes (RA) e total (MST), de duas variedades de alfaca (Mimosa – M e Regina de Verão – RV), em função das concentrações de Cd em amostras do LV.

Quadro 3 – Concentração de Cd nas folhas superiores (FS), folhas inferiores (FI) e raízes (RA), de plantas de alface colhidas após 44 dias de crescimento em amostras do LV submetidas a doses crescentes de cádmio (Cd)

Cd	Concentração					
	Mimosa			Regina de Verão		
	<i>FS</i>	<i>FI</i>	<i>RA</i>	<i>FS</i>	<i>FI</i>	<i>RA</i>
mg dm ⁻³	----- µg g ⁻¹ -----					
0,0	0,6	0,2	1,2	0,4	1,1	0,5
0,4	8,4	11,4	14,6	19,5	19,8	13,3
1,6	20,1	30,6	49,7	35,2	49,5	33,3
3,2	35,1	62,3	78,6	106,2	142,4	84,1
9,6	47,5	81,7	198,6	140,8	254,5	181,1

O conteúdo de Cd na parte aérea (FS+FI) nas duas variedades, à partir da dose de 0,4 mg dm⁻³, ficou acima da quantidade de Cd estimada em alimentos (39 µg), principalmente, na 'Regina de Verão' cujo conteúdo ficou em torno de 140 µg por planta. Isso indica a necessidade de um controle rigoroso na qualidade dos compostos de lixo urbano aplicados nos cultivos de hortaliças, pois se estiverem contaminados com esse elemento pode ocorrer a absorção do mesmo pelas plantas de alface, podendo causar prejuízos à saúde humana.

Quadro 4 – Conteúdo de cádmio nas folhas superiores (FS), folhas inferiores (FI), raízes (RA) e total (T), de plantas de alface colhidas após 44 dias de crescimento em amostras do LV submetidas a doses crescentes de cádmio (Cd)

Cd	Conteúdo							
	Mimosa				Regina de Verão			
	<i>FS</i>	<i>FI</i>	<i>RA</i>	<i>T</i>	<i>FS</i>	<i>FI</i>	<i>RA</i>	<i>T</i>
mg dm ⁻³	----- µg Planta ⁻¹ -----							
0,0	2,6	0,3	1,2	4,1	3,7	1,1	1,2	6,0
0,4	31,6	16,2	11,2	59,0	126,8	19,1	28,1	174,0
1,6	71,8	38,3	41,4	151,5	255,8	46,1	75,6	377,5
3,2	113,9	79,1	67,0	260,0	579,2	113,2	162,3	854,7
9,6	110,3	88,3	100,3	298,9	572,3	159,1	248,6	980,0

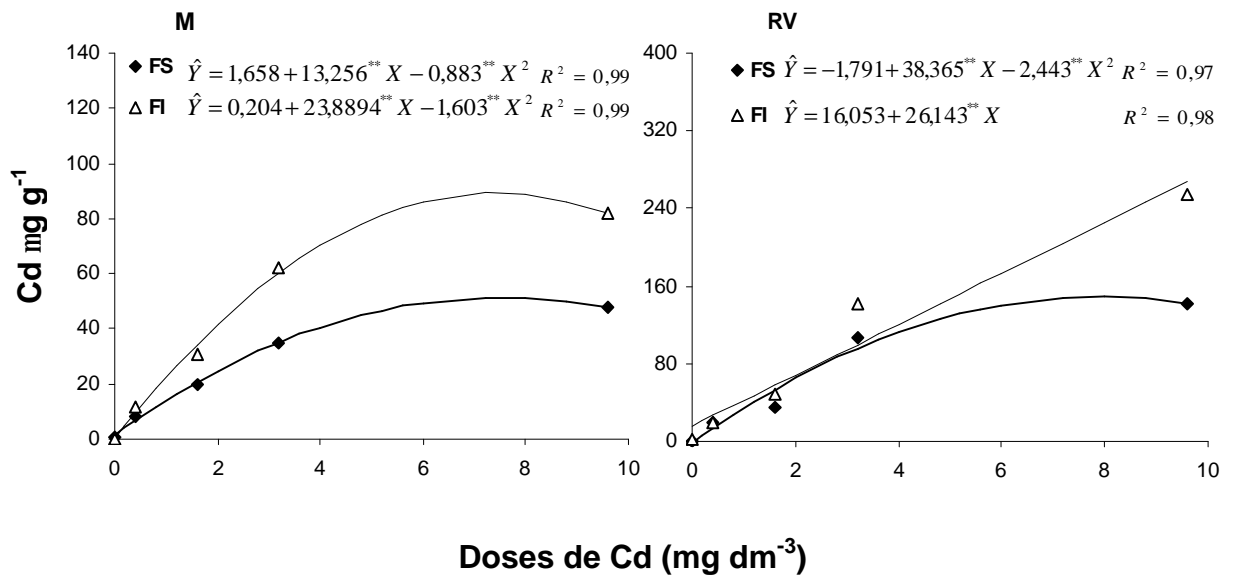


Figura 3 – Concentração de Cd nas folhas superiores (FS) e folhas inferiores (FI), de duas variedades de alface (Mimosa – M e Regina de Verão – RV), em função das concentrações de Cd em amostras do LV.

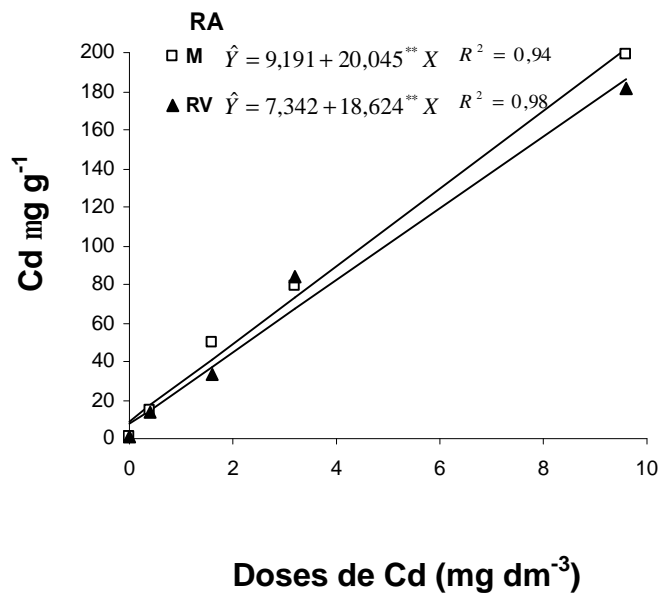


Figura 4 – Concentração de Cd nas raízes (RA) de duas variedades de alface (Mimosa – M e Regina de Verão – RV), em função das concentrações de Cd em amostras do LV.

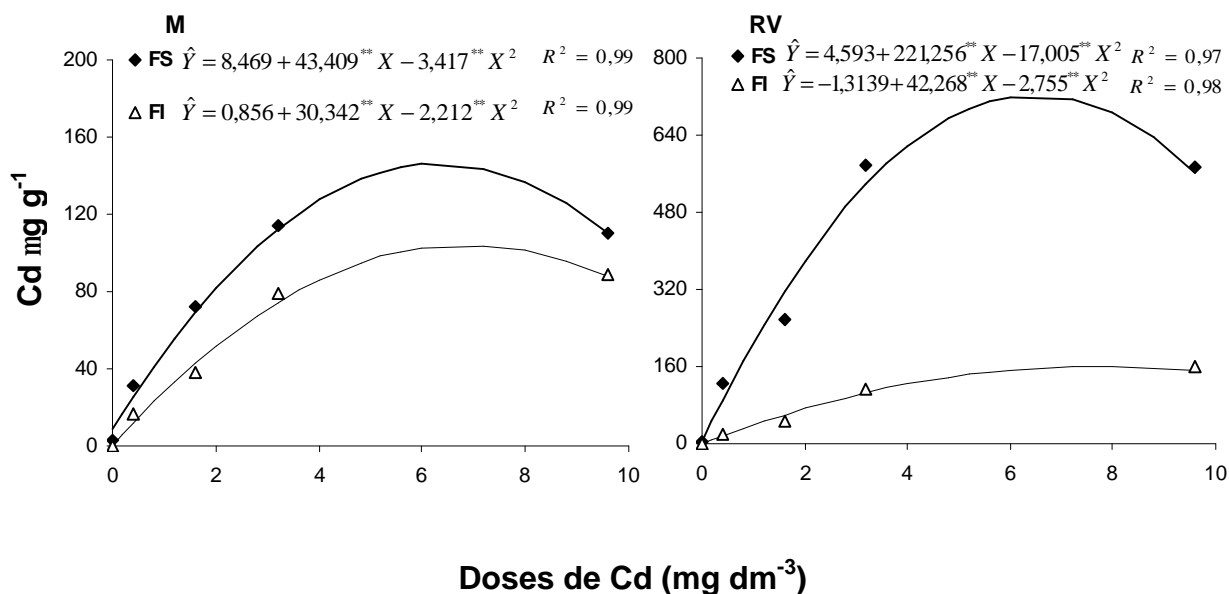


Figura 5 – Conteúdo de Cd nas folhas superiores (FS) e folhas inferiores (FI), de duas variedades de alface (Mimosa – M e Regina de Verão – RV), em função das concentrações de Cd em amostras do LV.

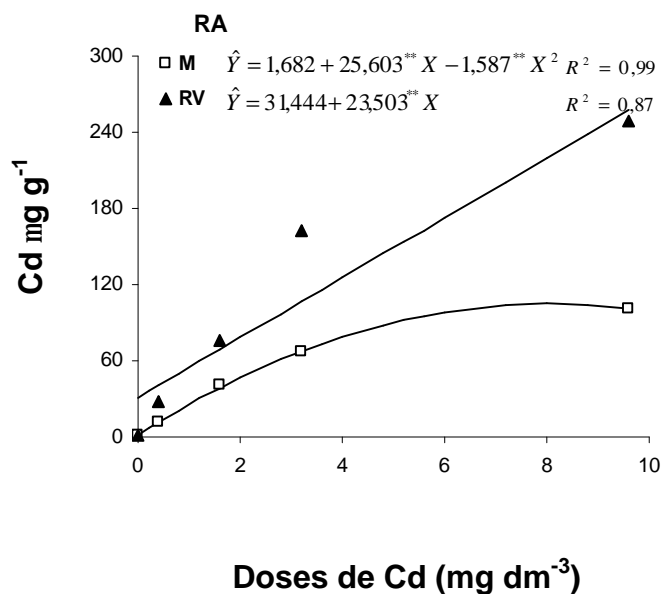


Figura 6 - Conteúdo de Cd nas raízes (RA) de duas variedades de alface (Mimosa – M e Regina de Verão – RV), em função das concentrações de Cd em amostras do LV.

Os modelos matemáticos que melhor se ajustaram para concentração de Cd nas FS e RA foi o mesmo para as duas variedades. Nas FI, ocorreu diferenciação, sendo quadrático para a 'Mimosa' e linear na 'Regina de Verão' (Figuras 3 e 4). Em termos de conteúdo, ocorreu diferença na resposta das variedades somente nas RA (Figuras 5 e 6).

Observou-se pequena diferença entre as variedades com relação às quantidades de Cd retidas na raiz e transportadas até a parte aérea. Na alface 'Regina de Verão', no tratamento testemunha (ausência de Cd), em média 20% da quantidade total do elemento na planta, ficou retido nas raízes. Na alface 'Mimosa' este valor chegou a 29%. Por outro lado, na presença do elemento, constatou-se aumento da retenção do metal na raiz, alcançando em média 25% na 'Regina de Verão' e 34% na 'Mimosa'. SALVIANO (1999), num ensaio com 5 variedades de fumo (*Nicotiana tabacum* L.), observou que essa retenção chegou a 70% em uma das variedades. É importante a retenção do Cd pelas raízes da alface porque reduz o risco de contaminação do ser humano, já que a parte comestível é a parte aérea.

Pelo Quadro 3 verifica-se que a distribuição da concentração de cádmio nos componentes das plantas foi, em ordem decrescente, na alface 'Mimosa': raízes > folhas inferiores > folhas superiores. Resultado encontrado também por GOMES (1996), utilizando a variedade Grand Rapids Nacional. No ensaio conduzido por esse autor, na análise do caule separadamente, verificou-se menor concentração do elemento. Essa distribuição indica que o elemento fica retido nas células das raízes, na alface 'Mimosa', seja por adsorção, acúmulo no vacúolo, precipitação como sal insolúvel, e ou, complexação por fitoquelatinas (Shier (1994), citado por GOMES, 1996). Contudo, pode ser que o resultado tenha sido influenciado pela quantidade de solo retida às raízes dessa variedade.

Na alface 'Regina de Verão', a distribuição em ordem decrescente na testemunha e na dose de 9,6 mg dm⁻³ foi: folhas inferiores > raízes > folhas superiores, e nas doses de 0,4; 1,6 e 3,2 mg dm⁻³; folhas inferiores > folhas superiores > raízes. Houve mesmo comportamento observado por (Xue e Harrison, (1991), citados por GOMES, 1996), num estudo com alface, onde foi encontrada maior concentração nas folhas inferiores em relação às outras partes da planta, o que pode estar relacionado com a alta mobilidade do Cd

nas plantas e com a maior transpiração nas folhas mais velhas. O comportamento diferenciado entre as duas variedades reforça as observações desses autores de que variedades de alface absorvem distintas quantidades de cádmio.

A distribuição relativa (em %) do conteúdo de Cd entre a FS, FI e a RA nas duas variedades (Quadro 5), mostra que na ‘Mimosa’ ocorre aumento do conteúdo na raiz com o aumento da dose do elemento no solo, concomitantemente há uma tendência de decréscimo do conteúdo na parte aérea (FS+FI), indicando possível mecanismo de acúmulo do Cd nas raízes. Esse comportamento não foi observado na alface ‘Regina de Verão’, onde a distribuição do conteúdo entre a parte aérea e a raiz teve pouca variação, mesmo aumentando-se a dose de Cd.

Quadro 5 – Distribuição do conteúdo de cádmio nas folhas superiores (FS), folhas inferiores (FI) e raízes (RA), de plantas de alface colhidas após 44 dias de crescimento em amostras do LV submetidas doses crescentes de cádmio (Cd)

Cd	Distribuição do Conteúdo					
	Mimosa			Regina de Verão		
	<i>FS</i>	<i>FI</i>	<i>RA</i>	<i>FS</i>	<i>FI</i>	<i>RA</i>
mg dm ⁻³	----- % -----					
0,0	64	7	29	62	18	20
0,4	54	27	19	73	11	16
1,6	48	25	27	68	12	20
3,2	44	30	26	68	13	19
9,6	37	29	34	58	17	25

A distribuição do conteúdo de Cd (%) nas FS e FI (Quadro 6) mostra que na alface ‘Mimosa’ com o aumento da dose do elemento no solo ocorre redução da presença de Cd nas FS. Ao mesmo tempo observa-se aumento nas FI, sendo este comportamento não observado na alface ‘Regina de Verão’, que mantém pouco variável a distribuição entre as folhas superiores e as folhas inferiores. Isso indica, na variedade ‘Mimosa’, a maior translocação de Cd das folhas mais jovens (FS) para as mais velhas (FI), o que provavelmente não ocorre na ‘Regina de Verão’, onde a distribuição entre o conteúdo de Cd nas FS e FI permaneceu constante.

Quadro 6 – Distribuição do conteúdo de cádmio nas folhas superiores (FS) e folhas inferiores (FI), de plantas de alface colhidas após 44 dias de crescimento em amostras do LV submetidas a doses crescentes de cádmio (Cd)

<i>Cd</i>	<i>Distribuição do Conteúdo</i>			
	<i>Mimosa</i>		<i>Regina de Verão</i>	
	<i>FS</i>	<i>FI</i>	<i>FS</i>	<i>FI</i>
mg dm ⁻³	----- % -----			
0,0	90	10	77	23
0,4	66	34	87	13
1,6	65	35	85	15
3,2	59	41	84	16
9,6	55	44	78	22

3.2. Efeito do zinco nas variedades de alface

3.2.1. Produção de matéria seca

A produção de matéria seca total da ‘Regina de Verão’ foi maior que da ‘Mimosa’ (Quadro 7). Somente nas FI, a quantidade de MS produzida pela variedade ‘Mimosa’ foi maior que na ‘Regina de Verão’.

Na variedade Mimosa não houve efeito significativo da concentração do Zn no solo sobre a produção de matéria seca, tanto nas FS e FI como na RA (Figura 7 e 8). Na ‘Regina de Verão’ ocorreu efeito significativo que acompanhou o modelo exponencial sobre a produção de matéria seca da raiz e matéria seca total (Figura 8), sendo que na raiz essa redução ficou em torno de 16% em relação à testemunha (ausência de Zn). Essa redução na produção de MS das raízes foi favorecida por essa variedade apresentar sistema radicular mais desenvolvido, maior área de contato com o solo e, conseqüentemente, maior número de sítios de absorção.

De acordo com Boardman e McGuire (1990), citados por MARSCHNER (1995), as espécies em geral apresentam grande tolerância ao Zn, presente em altas concentrações nos tecidos. No presente experimento, na dose de 36 mg dm⁻³ de Zn, a concentração de Zn nas FI e RA, nos dois cultivares ficou em torno de 1000 µg g⁻¹ (Quadro 8), valor bem acima do

estabelecido como tóxico na maioria das culturas ($300 \mu\text{g g}^{-1}$). Isso indica que essa espécie tem grande capacidade de tolerar concentrações elevadas de Zn.

Alguns mecanismos citados na literatura são responsáveis por essa tolerância como a retenção do elemento nos vacúolos e a complexação com ácidos orgânicos, como malato e citrato (GODBOLD et al., 1984). Em tecidos não vacuolados, essa retenção seria feita por ácido fítico, sendo a alta afinidade desse ácido com o Zn, Fe e outros metais pesados, provavelmente, de importância na ligação com metais pesados e conseqüente detoxificação das raízes (MARSCHNER, 1995). Outro mecanismo que poderia estar também atuando nessa tolerância seria a complexação por aminoácidos no citoplasma (Van STEVENINCK et al., 1987a,b).

Quadro 7 - Matéria seca (MS) de folhas superiores (FS), folhas inferiores (FI), raízes (RA) e total (MST), de plantas de alface colhidas após 44 dias de crescimento em amostras do LV submetidas a doses crescentes de zinco (Zn)

Zn	Matéria Seca							
	Mimosa				Regina de Verão			
	FS	FI	RA	MST	FS	FI	RA	MST
mg dm ⁻³	----- g -----							
0,0	4,46	1,52	0,82	6,80	8,66	1,19	2,48	12,33
2,0	4,53	1,74	0,98	7,25	9,07	1,04	2,39	12,50
6,0	4,03	1,80	0,96	6,79	7,68	0,91	2,17	10,76
18,0	4,02	1,48	0,71	6,21	7,79	0,76	1,54	10,10
36,0	4,26	1,59	0,69	6,54	7,92	0,84	1,60	10,36

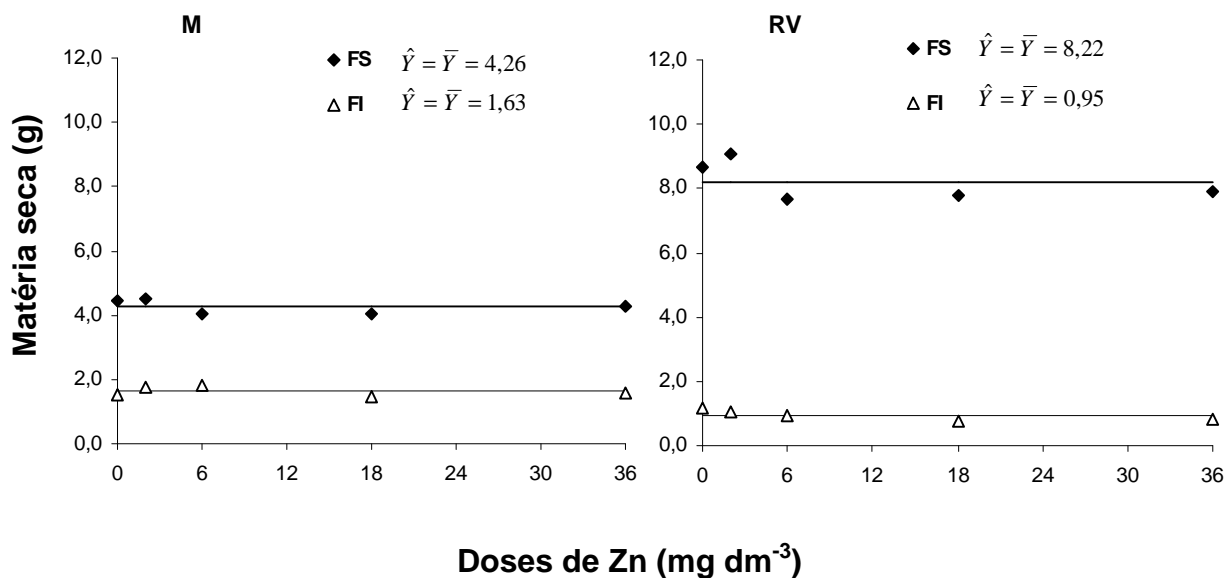


Figura 7 - Produção de matéria seca das folhas superiores (FS) e folhas inferiores (FI), de duas variedades de alface (Mimosa – M e Regina de Verão – RV), em função das concentrações de Zn em amostras do LV.

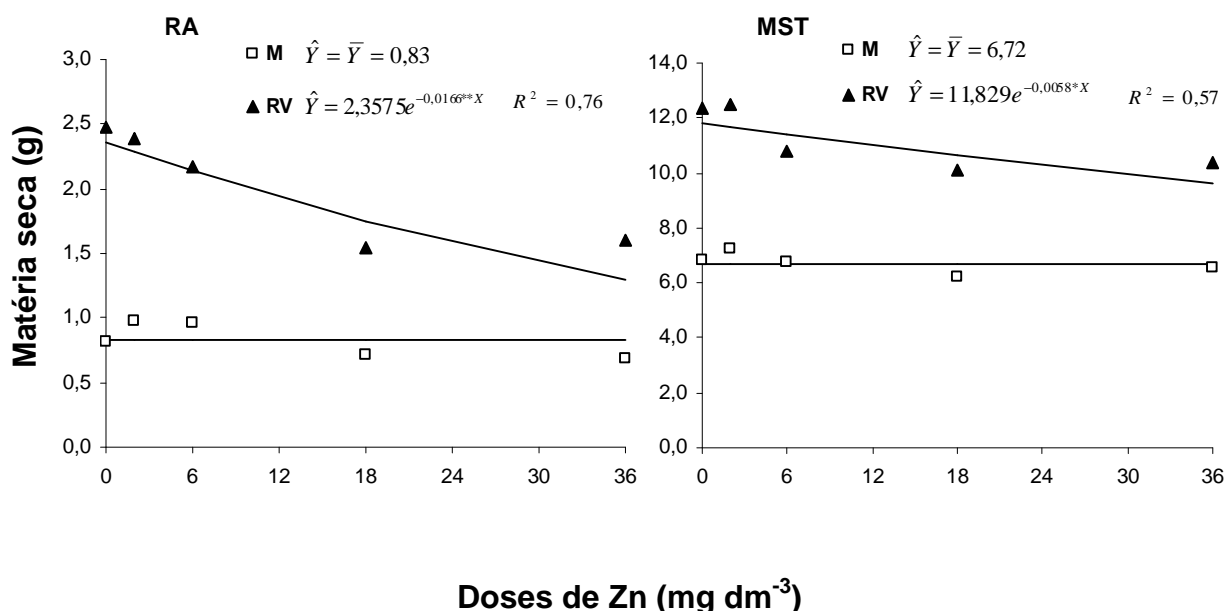


Figura 8 - Produção de matéria seca das raízes (RA) e total (MST), de duas variedades de alface (Mimosa – M e Regina de Verão – RV), em função das concentrações de Cd em amostras do LV.

3.2.2. Absorção e distribuição de zinco nas plantas

Os resultados de concentração de Zn, nas variedades de alface estudadas, encontram-se no Quadro 8. Observou-se um aumento na concentração do elemento com o aumento das doses estudadas.

Quadro 8 – Concentração de zinco nas folhas superiores (FS), folhas inferiores (FI) e raízes (RA), de plantas de alface colhidas após 44 dias de crescimento em amostras do LV submetidas a doses crescentes de zinco (Zn)

Zn	Concentração					
	Mimosa			Regina de Verão		
	FS	FI	RA	FS	FI	RA
mg dm ⁻³	----- µg g ⁻¹ -----					
0,0	33,2	21,7	116,3	22,8	14,0	60,3
2,0	64,7	56,2	136,0	93,5	184,2	203,4
6,0	115,1	160,1	207,2	184,6	327,3	259,5
18,0	175,1	449,5	708,4	400,1	1.252,5	873,3
36,0	292,6	1.019,2	1.040,5	496,7	1.350,3	1267,6

Observou-se maior conteúdo de Zn na alface ‘Regina de Verão’, que na ‘Mimosa’ (Quadro 9). Por apresentar sistema radicular mais desenvolvido, a absorção e o transporte foram maiores na ‘Regina de Verão’, o que é explicado também pela maior produção de MS da parte aérea (FS+FI).

Quadro 9 – Conteúdo de zinco nas folhas superiores (FS), folhas inferiores (FI), raízes (RA) e total (T), de plantas de alface colhidas após 44 dias de crescimento em amostras do LV submetidas a doses crescentes de zinco (Zn)

Zn	Conteúdo							
	Mimosa				Regina de Verão			
	FS	FI	RA	T	FS	FI	RA	T
mg dm ⁻³	----- µg Planta ⁻¹ -----							
0,0	148,2	33,0	95,4	276,6	197,2	16,7	149,9	363,8
2,0	292,8	97,4	133,2	523,4	847,8	191,6	486,1	1.525,5
6,0	463,3	288,5	197,9	949,7	1.418,6	297,9	564,3	2.280,8
18,0	702,9	665,3	502,9	1.871,1	3.115,9	961,3	1.342,7	5.419,9
36,0	1.246,6	1.623,0	723,1	3.592,7	3.936,1	1.134,3	2.031,3	7.101,7

Calculando-se a distribuição do conteúdo em termos de porcentagem entre as FS, FI e as RA (Quadro 10), verifica-se que na alface ‘Mimosa’ e na ‘Regina de Verão’ com o aumento das doses de Zn no solo, aumenta-se o conteúdo na parte aérea (FS+FI) e diminui na raiz. Quanto à distribuição entre FS e FI (Quadro 11), observa-se comportamento semelhante entre as duas variedades. Com o aumento da dose de Zn aplicada no solo ocorre diminuição do conteúdo nas folhas superiores com o respectivo aumento nas folhas inferiores.

Quadro 10 – Distribuição do conteúdo de zinco nas folhas superiores (FS), folhas inferiores (FI) e raízes (RA), de plantas de alface colhidas após 44 dias de crescimento em amostras do LV submetidas a doses crescentes de zinco (Zn)

Zn	Distribuição do Conteúdo					
	Mimosa			Regina de Verão		
	FS	FI	RA	FS	FI	RA
mg dm ⁻³	----- % -----					
0,0	54	12	34	54	5	41
2,0	56	19	25	56	12	32
6,0	49	30	21	62	13	25
18,0	38	35	27	57	18	25
36,0	35	45	20	55	16	29

Observando-se o Quadro 11, é possível verificar que na alface ‘Mimosa’, na maior dose estudada, em torno de 60 % do elemento se encontra nas FI, já na ‘Regina de Verão’, mesmo ocorrendo um aumento do conteúdo de Zn nas folhas inferiores, aproximadamente 80% continuou nas folhas superiores. Essa diferença entre as duas variedades indica a menor translocação desse elemento das folhas superiores para as folhas inferiores na variedade ‘Regina de Verão’.

Quadro 11 – Distribuição do conteúdo de zinco nas folhas superiores (FS) e folhas inferiores (FI), de plantas de alface colhidas após 44 dias de crescimento em amostras do LV submetidas a doses crescentes de zinco (Zn)

Zn	Distribuição do Conteúdo			
	Mimosa		Regina de Verão	
	<i>FS</i>	<i>FI</i>	<i>FS</i>	<i>FI</i>
mg dm ⁻³	----- % -----			
0,0	82	18	92	08
2,0	75	25	82	18
6,0	62	38	83	17
18,0	51	49	76	24
36,0	43	57	78	22

Nas duas variedades houve efeito significativo das doses de Zn sobre a concentração e o conteúdo do elemento nas partes das plantas de alface. Esse efeito na concentração e no conteúdo foi linear em todas as partes na alface 'Mimosa' (Figuras 9, 10, 11, 12). Na 'Regina de Verão', a concentração nas FS e FI corresponderam ao modelo quadrático e na RA foi linear (Figuras 9 e 10). O conteúdo nas FS foi linear, nas FI quadrático e nas RA exponencial (Figuras 11 e 12).

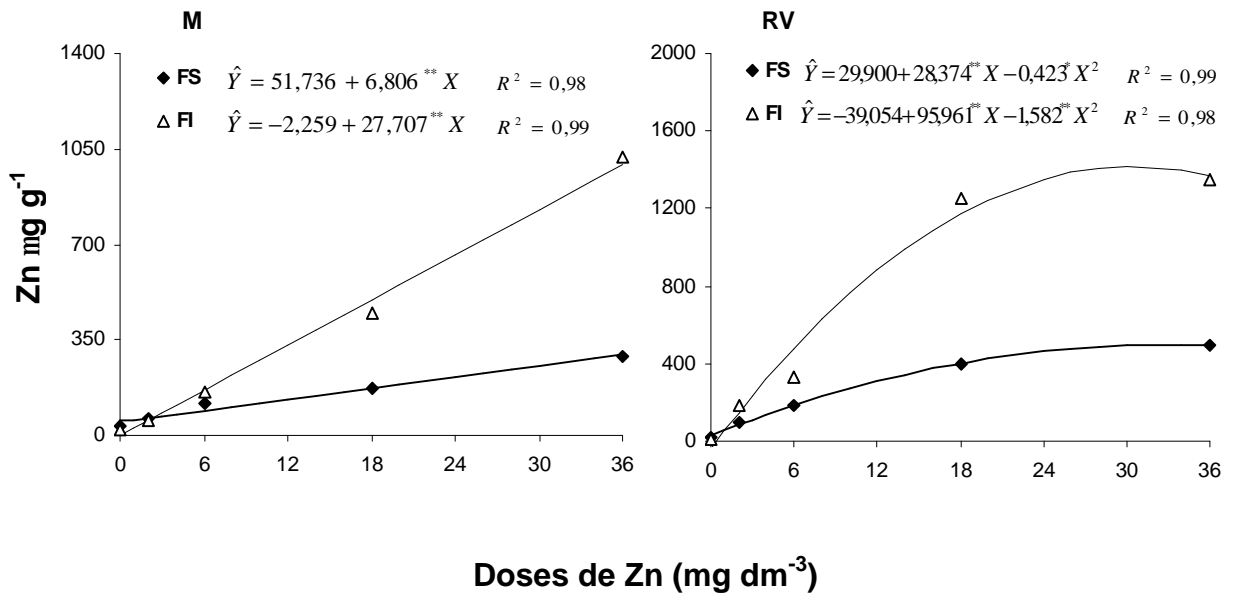


Figura 9 – Concentração de Zn nas folhas superiores (FS) e folhas inferiores (FI), de duas variedades de alface (Mimosa – M e Regina de Verão – RV), em função das concentrações de Zn em amostras do LV.

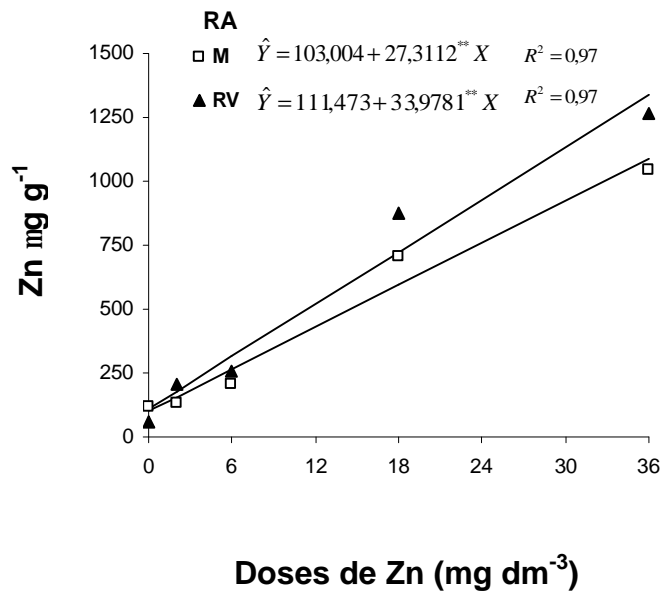


Figura 10 – Concentração de Zn nas raízes (RA) de duas variedades de alface (Mimosa – M e Regina de Verão – RV), em função das concentrações de Zn em amostras do LV.

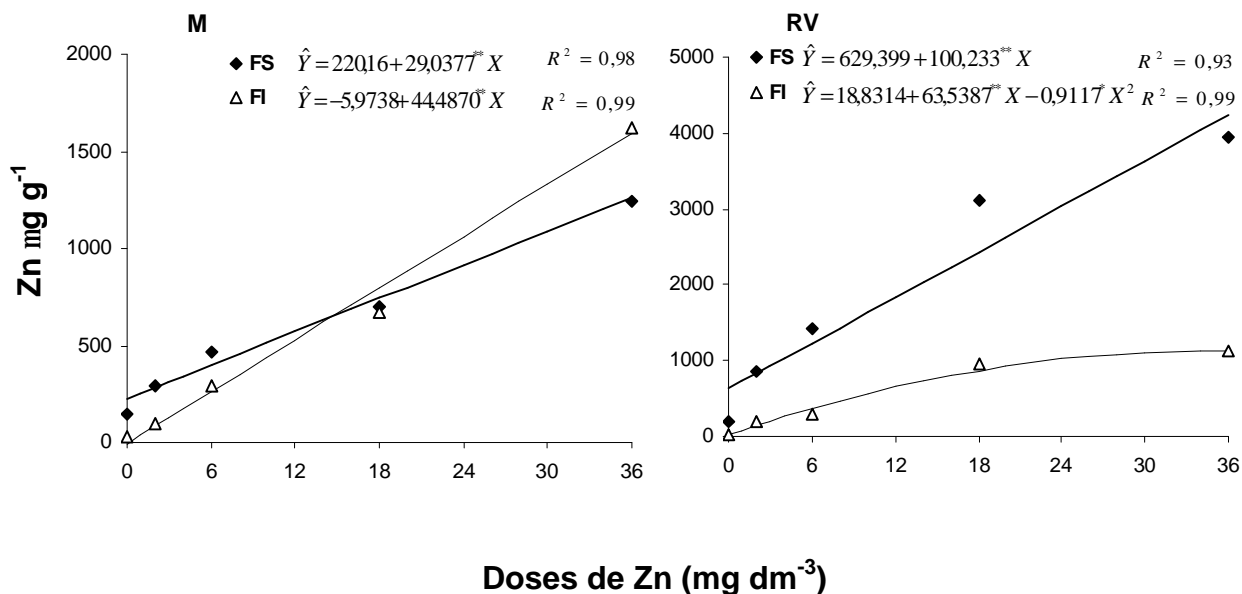


Figura 11 - Conteúdo de Zn nas folhas superiores (FS) e folhas inferiores (FI), de duas variedades de alface (Mimosa – M e Regina de Verão – RV), em função das concentrações de Zn em amostras do LV.

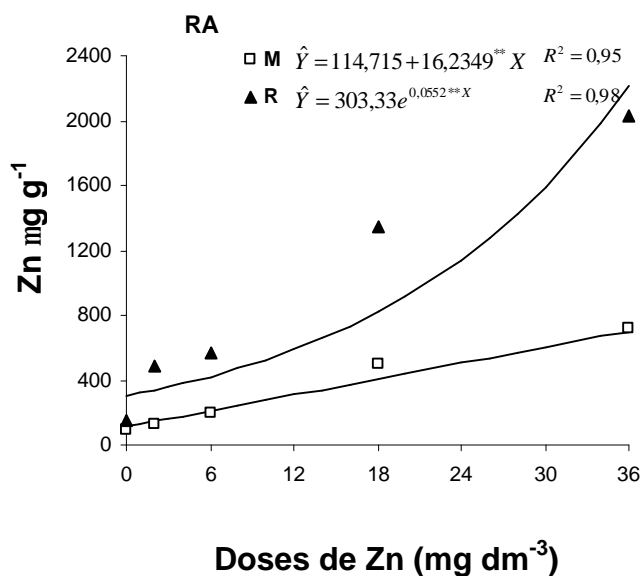


Figura 12 – Conteúdo de Zn nas raízes (RA) de duas variedades de alface (Mimosa – M e Regina de Verão – RV), em função das concentrações de Zn em amostras do LV.

3.3. Efeito do cádmio nas variedades de cenoura

3.3.1. Produção de matéria seca

Devido ao ataque do fungo *Alternaria dauci* L., que causa a queima das folhas das plantas de cenoura e a morte das mesmas, foi necessário efetuar a coleta das plantas antes do ciclo da cultura se completar o que aconteceria em torno de 95 dias após a semeadura. Isso impediu a máxima e normal produção de MS, tanto da parte aérea como da raiz nas duas variedades (Quadro 12).

Por esse motivo, não foi possível avaliar o efeito da concentração de Cd no solo, sobre a produção de matéria seca da raiz em nenhuma das variedades. Com relação à parte aérea, na variedade Brasília, somente o modelo cúbico foi significativo, mas não é permitido considerar como resposta da planta ao tratamento, pois não há como explicar o ajuste do modelo cúbico aos tratamentos (Figuras 13 e 14)

Pelo Quadro 12 verifica-se ligeira tendência da produção de MS total da variedade Brasília ser maior que a 'Nantes'. Mas observando-se a produção de MS das partes em separado, existe tendência da MS da parte aérea da cenoura 'Nantes' ser maior que a 'Brasília', sendo que na raiz essa relação é inversa, ou seja, a produção de MS das raízes da variedade Nantes é menor do que a 'Brasília'.

Quadro 12 – Matéria seca (MS) da parte aérea (PA), raízes (RA) e total (MST), de plantas de cenoura colhidas após 57 dias de crescimento em amostras do LV submetidas a doses crescentes de cádmio (Cd)

Cd	Matéria Seca					
	Brasília			Nantes		
	<i>PA</i>	<i>RA</i>	<i>MST</i>	<i>PA</i>	<i>RA</i>	<i>MST</i>
mg dm ⁻³	g					
0,0	0,58	0,25	0,83	0,70	0,16	0,86
0,4	0,75	0,40	1,15	0,92	0,22	1,14
1,6	0,38	0,13	0,51	0,74	0,15	0,89
3,2	0,82	0,53	1,88	0,67	0,16	0,83
9,6	0,74	0,57	1,31	0,80	0,13	0,93

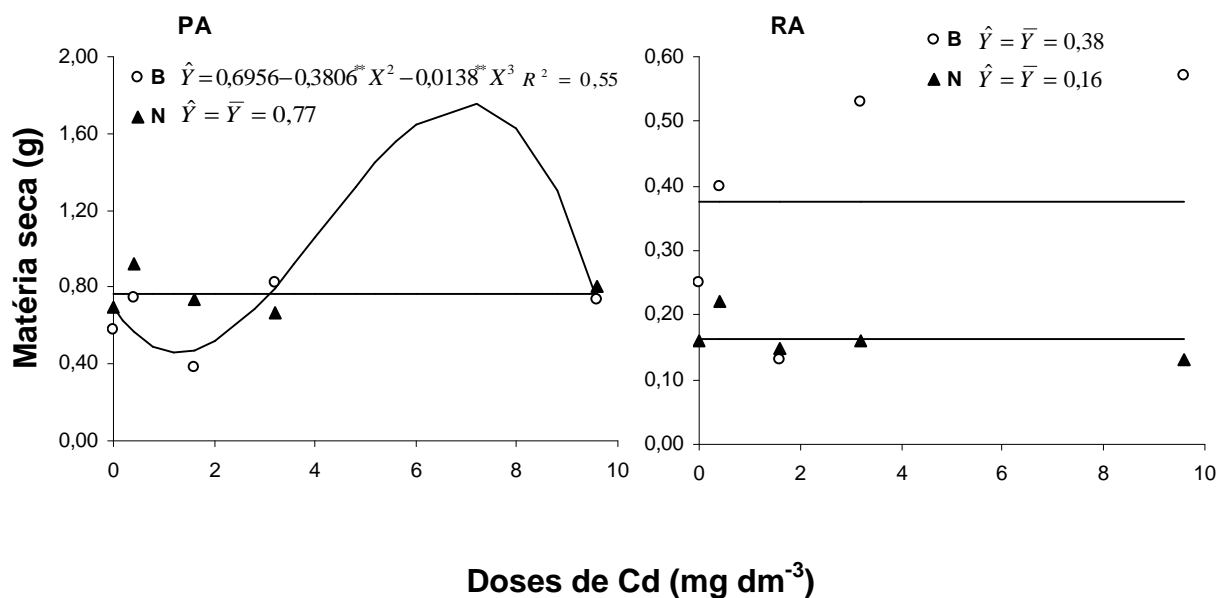


Figura 13 - Produção de matéria seca parte aérea (PA) e da raiz (RA), de duas variedades de cenoura (Brasília – B e Nantes – N), em função das concentrações de Cd em amostras do LV.

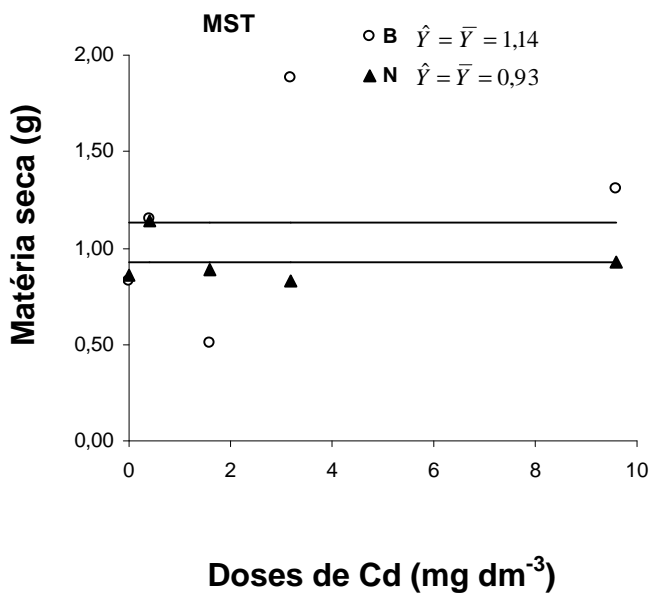


Figura 14 - Produção de matéria seca total (MST) de duas variedades de cenoura (Brasília – B e Nantes – N), em função das concentrações de Cd em amostras do LV.

3.3.2. Absorção e distribuição de cádmio nas plantas

Pelos dados de concentração encontrados no Quadro 13, pode-se observar que nas doses de 3,2 e 9,6 mg dm⁻³ a concentração de Cd na RA da variedade 'Nantes' é maior que na 'Brasília', enquanto que na PA ocorre o inverso, sendo a concentração na PA menor na variedade 'Nantes'. Nas testemunhas e na dose de 0,4 mg dm⁻³, a concentração na 'Nantes' foi maior tanto na PA como na RA. Na dose de 1,6 mg dm⁻³ os teores na PA e na RA da 'Brasília' foram maiores que na variedade 'Nantes'.

A concentração de Cd encontrada tanto na parte aérea como na raiz nas duas variedades, a partir da dose de 0,4 mg dm⁻³, está acima do limite considerado tóxico para diversas espécies de plantas conforme KABATA-PENDIAS e PENDIAS (1992).

Quadro 13 – Concentração de Cd na parte aérea (PA) e raízes (RA), de plantas de cenoura colhidas após 57 dias de crescimento em amostras do LV submetidas a doses crescentes de cádmio (Cd)

Cd	Concentração			
	Brasília		Nantes	
	<i>PA</i>	<i>RA</i>	<i>PA</i>	<i>RA</i>
mg dm ⁻³	----- µg g ⁻¹ -----			
0,0	0,8	3,8	1,7	5,8
0,4	11,6	10,5	17,5	15,0
1,6	47,0	39,6	39,4	36,3
3,2	60,5	35,3	55,3	55,5
9,6	137,6	52,1	101,2	125,3

Com relação ao conteúdo (Quadro 14) até a dose de 1,6 mg dm⁻³, a quantidade total do elemento encontrada era maior na variedade 'Nantes'. Nas doses maiores a maior quantidade foi determinada na 'Brasília'.

O aumento da dose de Cd no solo causou aumento do conteúdo de Cd na PA e diminuição na RA, nas duas variedades (Quadro 15). Provavelmente, algum mecanismo incrementa o transporte até a parte aérea em relação à raiz. Como nessa espécie, a parte consumida pelo homem é a raiz; essa distribuição diminui o risco do Cd atingir o ser humano, caso essa planta seja cultivada em solos contaminados.

Quadro 14 – Conteúdo de Cd na parte aérea (PA), raízes (RA) e na biomassa total (T), de plantas de cenoura colhidas após 57 dias de crescimento em amostras do LV submetidas a doses crescentes de cádmio (Cd)

Cd	Conteúdo					
	Brasília			Nantes		
	<i>PA</i>	<i>RA</i>	<i>T</i>	<i>PA</i>	<i>RA</i>	<i>T</i>
mg dm ⁻³	----- µg Planta ⁻¹ -----					
0,0	0,5	0,9	1,4	1,2	0,9	2,1
0,4	8,7	4,2	12,9	16,1	3,3	19,4
1,6	17,9	5,1	23,0	29,1	5,4	34,5
3,2	49,6	18,7	68,3	37,1	8,9	46,0
9,6	101,8	29,7	131,5	80,9	16,3	97,2

Quadro 15 – Distribuição do conteúdo de Cd entre a parte aérea (PA) e raízes (RA), de plantas de cenoura colhidas após 57 dias de crescimento em amostras do LV submetidas a doses crescentes de cádmio (Cd)

Cd	Brasília		Nantes	
	<i>PA</i>	<i>RA</i>	<i>PA</i>	<i>RA</i>
mg dm ⁻³	----- % -----			
0,0	36	64	57	43
0,4	67	33	83	17
1,6	78	22	84	16
3,2	73	27	81	19
9,6	77	23	83	17

Houve efeito significativo do tratamento sobre a concentração e o conteúdo de Cd, determinados na parte aérea e raiz nas variedades de cenoura, ou seja, com o aumento da concentração do elemento no solo de cultivo ocorreu aumento da concentração e do conteúdo, tanto na parte aérea como na raiz nas duas variedades. Na cenoura ‘Brasília’, a concentração e o conteúdo na parte aérea e na raiz apresentaram ajuste linear (Figuras 15 e 16). Na variedade Nantes, somente a concentração na parte aérea apresentou efeito quadrático. Para as outras variáveis o melhor ajuste foi linear (Figuras 15 e 16).

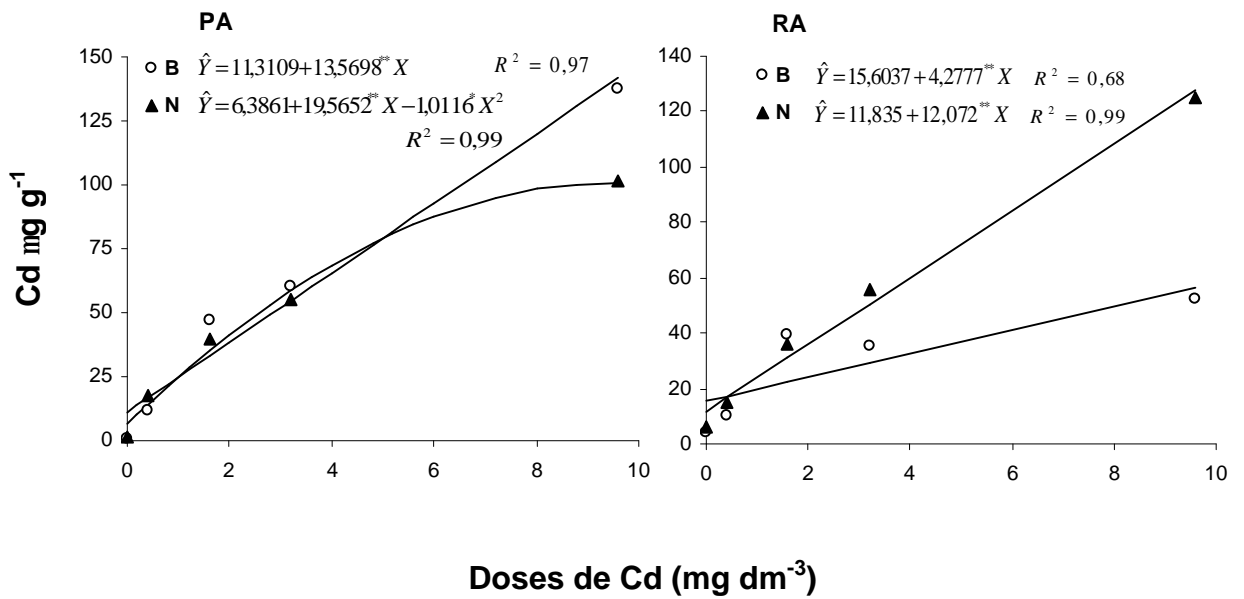


Figura 15 – Concentrações de cádmio na parte aérea (PA) e raiz (RA), de duas variedades de cenoura (Brasília – B e Nantes – N), em função das concentrações de Cd em amostras do LV.

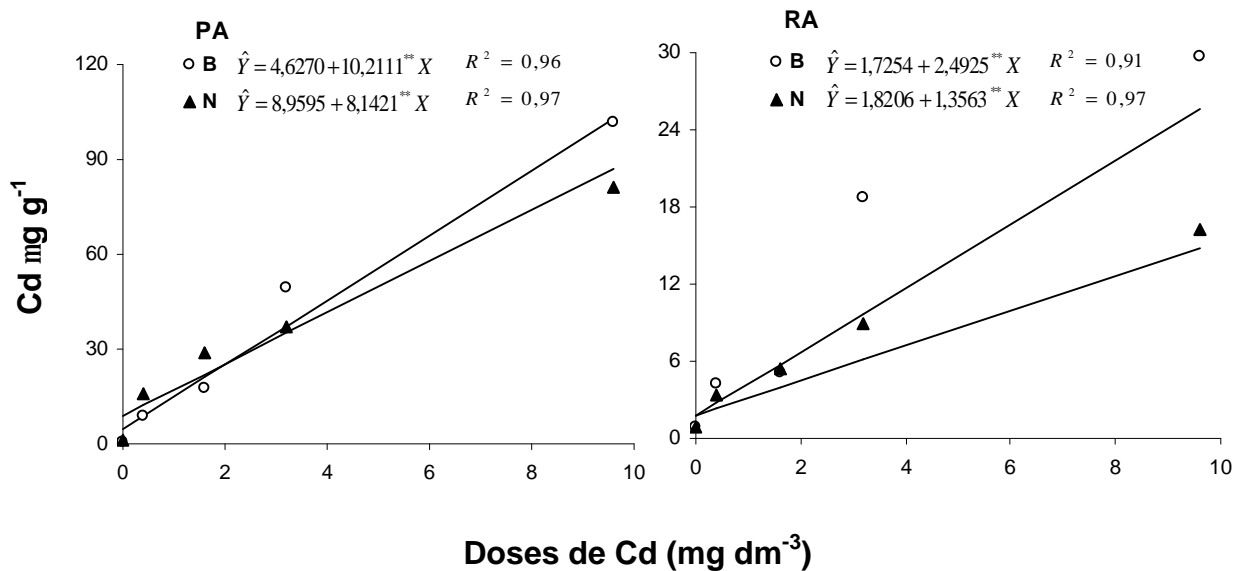


Figura 16 – Conteúdo de Cd da parte aérea (PA) e raiz (RA), de duas variedades de cenoura (Brasília – B e Nantes – N) em função das concentrações de Cd em amostras do LV.

3.4. Efeito do zinco nas variedades de cenoura

3.4.1. Produção de matéria seca

A produção de matéria seca, de partes e do total, nas duas variedades de cenoura estudadas, encontra-se no Quadro 16.

Observa-se ligeira tendência da produção de MS da PA da cenoura 'Nantes' ser maior do que na 'Brasília', enquanto que nas raízes ocorrem o contrário, ou seja, a quantidade de MS produzida pelas raízes da cenoura 'Nantes' é menor do que na 'Brasília'.

Não houve efeito significativo das concentrações de zinco sobre a produção de MS da raiz (Figura 17) e total (Figura 18) nas duas variedades. Na 'Brasília' observou-se efeito cúbico na produção de MS da parte aérea, e o modelo que melhor ajustou-se foi o cúbico-raiz (Figura 17), o que não foi observado na 'Nantes'. Como ocorreu no tratamento com Cd, não é possível avaliar se esse efeito significativo foi devido ao tratamento ou resultante do ataque do fungo.

Quadro 16 - Matéria seca (MS) da parte aérea (PA), raízes (RA) e total (MST), de plantas de cenoura colhidas após 57 dias de crescimento em amostras do LV submetidas a doses crescentes de zinco (Zn)

Zn	Matéria Seca					
	Brasília			Nantes		
	<i>PA</i>	<i>RA</i>	<i>MST</i>	<i>PA</i>	<i>RA</i>	<i>MST</i>
mg dm ⁻³	g					
0,0	0,41	0,25	0,66	0,63	0,13	0,76
2,0	0,89	0,48	1,37	1,28	0,33	1,61
6,0	0,87	0,48	1,35	0,79	0,30	1,09
18,0	0,66	0,25	0,91	1,01	0,20	1,21
36,0	0,60	0,35	0,95	0,62	0,10	0,72

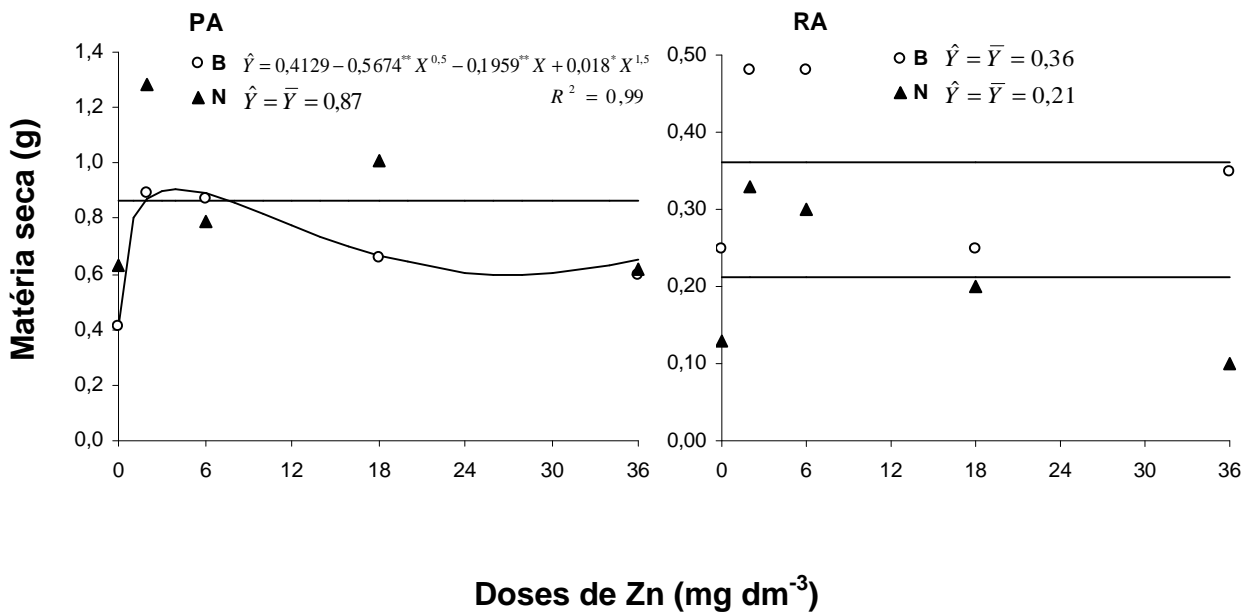


Figura 17 - Produção de matéria seca da parte aérea (PA) e raiz (RA), de duas variedades de cenoura (Brasília - B e Nantes - N), em função das concentrações de Zn em amostras do LV.

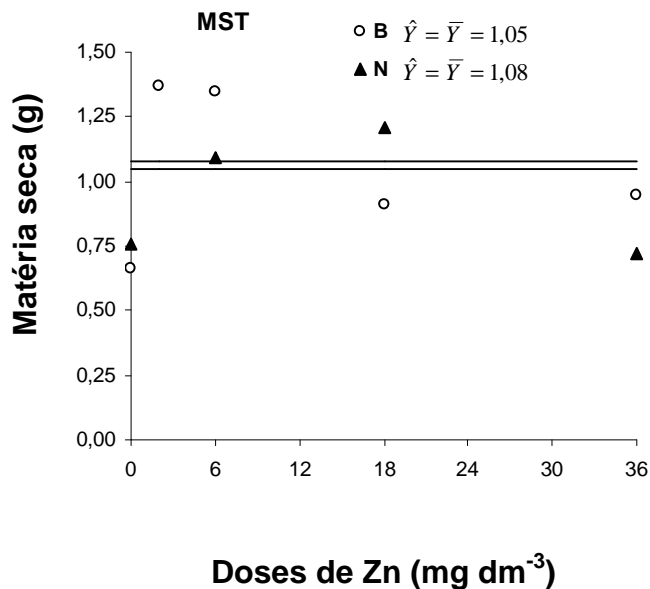


Figura 18 - Produção de matéria seca total (MST) de duas variedades de cenoura (Brasília - B e Nantes - N), em função das concentrações de Zn em amostras do LV.

3.4.2. Absorção e distribuição de zinco nas plantas

Nos Quadros 17 e 18 encontram-se os valores de concentração e os de conteúdo determinados na parte aérea e raiz, nas duas variedades. Pode-se observar tendência de aumento da concentração do elemento na partes das variedades estudadas com o aumento das doses aplicadas às amostras de solo.

Houve efeito linear significativo das concentrações de zinco no solo sobre a concentração e o conteúdo do elemento na parte aérea da cenoura 'Brasília', o que não ocorreu na raiz (Figuras 19 e 20). Com relação à variedade Nantes, ocorreu efeito significativo na concentração da parte aérea e o modelo que melhor ajustou-se aos resultados foi o cúbico e na raiz, o linear (Figura 19).

Quadro 17 – Concentração de Zn na parte aérea (PA) e raízes (RA), de plantas de cenoura colhidas após 57 dias de crescimento em amostras do LV submetidas a doses crescentes de zinco (Zn)

Zn	Concentração			
	Brasília		Nantes	
	PA	RA	PA	RA
mg dm ⁻³	----- µg g ⁻¹ -----			
0,0	43,2	263,0	39,9	176,6
2,0	82,7	58,8	88,6	119,0
6,0	279,7	154,7	174,5	128,7
18,0	583,6	264,2	404,3	389,7
36,0	1054,8	738,9	964,4	567,0

Quadro 18 – Conteúdo de Zn na parte aérea (PA), raízes (RA) e na biomassa total (T) de plantas de cenoura colhidas após 57 dias de crescimento em amostras do LV submetidas a doses crescentes de zinco (Zn)

Zn	Conteúdo					
	Brasília			Nantes		
	PA	RA	T	PA	RA	T
mg dm ⁻³	----- µg Planta ⁻¹ -----					
0,0	17,7	66,4	84,1	25,3	23,4	48,7
2,0	73,4	28,2	101,6	113,6	39,6	153,2
6,0	244,0	74,6	318,6	138,3	41,4	179,7
18,0	383,7	64,7	448,4	406,3	42,8	449,1
36,0	632,9	258,6	891,5	593,1	55,3	648,4

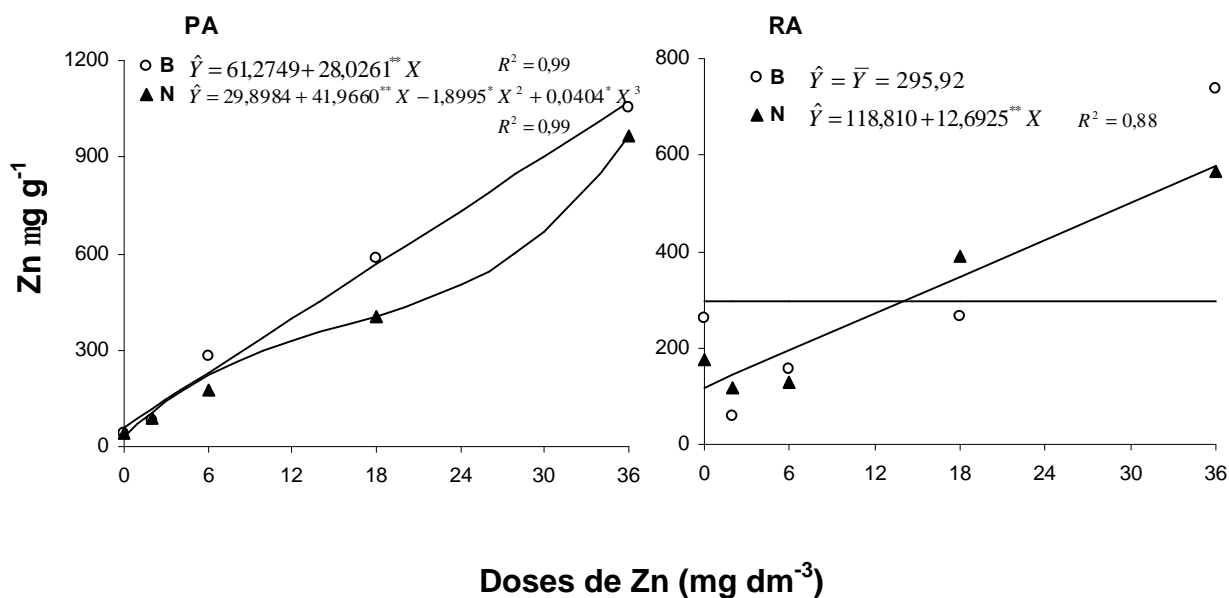


Figura 19 – Concentrações de Zn na parte aérea (PA) e raiz (RA)', de duas variedades de cenoura (Brasília – B e Nantes – N), em função das concentrações de Zn em amostras do LV.

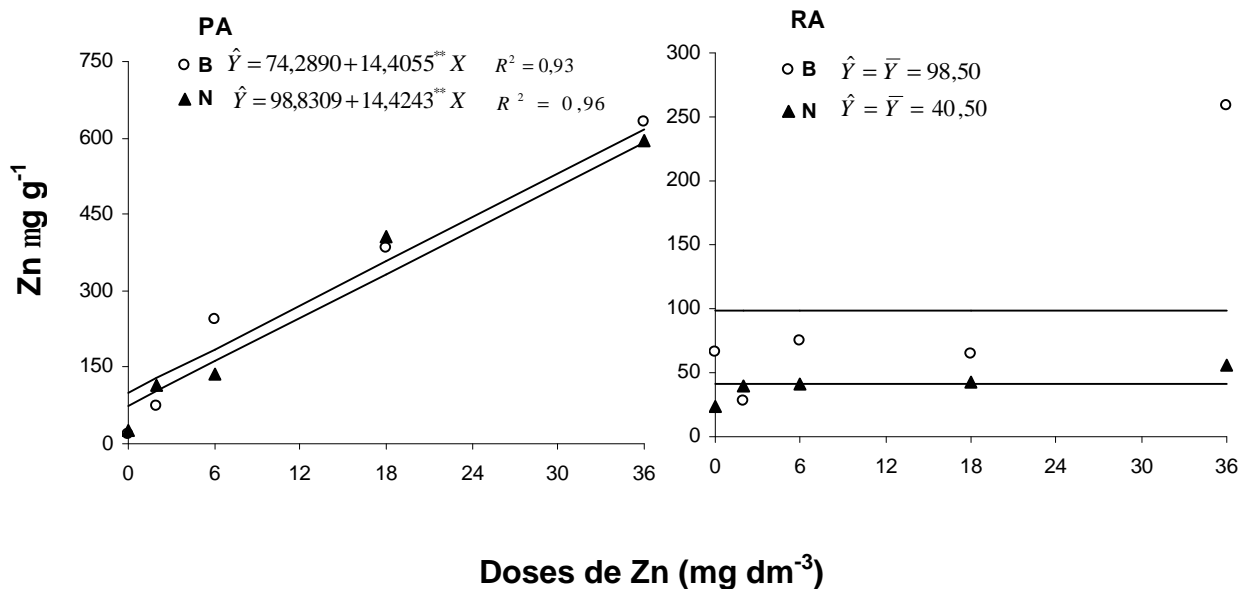


Figura 20 – Conteúdo de Zn da parte aérea (PA) e raiz (RA), de duas variedades de cenoura (Brasília – B e Nantes – N) em função das concentrações de Zn em amostras do LV.

A distribuição do conteúdo de zinco entre a parte aérea e a raiz nas duas variedades foi diferenciada (Quadro 19). Na variedade 'Brasília', na ausência de Zn, 80 % do elemento foi encontrado na raiz e 20% na parte aérea; na variedade 'Nantes' a distribuição foi 52% na parte aérea e 48% na raiz.

Na variedade 'Brasília', a partir da segunda dose (2 mg dm⁻³), a distribuição manteve-se praticamente constante, aproximadamente 70% se encontrava na parte aérea e 30% na raiz. Isso não se repetiu, na variedade 'Nantes', havendo aumento constante do conteúdo na parte aérea e diminuição na raiz, com o aumento da concentração de Zn no solo. Portanto, as variedades estudadas apresentam mecanismos de absorção e transporte distintos, tal como ocorreu com o cádmio.

Quadro 19 – Distribuição do conteúdo de Zn entre a parte aérea (PA) e raízes (RA), de plantas de cenoura colhidas após 57 dias de crescimento em amostras do LV submetidas a doses crescentes de zinco (Zn)

Zn	Distribuição do Conteúdo			
	Brasília		Nantes	
	<i>PA</i>	<i>RA</i>	<i>PA</i>	<i>RA</i>
mg dm ⁻³	----- % -----			
0,0	21	79	52	48
2,0	72	28	74	26
6,0	77	23	77	23
18,0	86	14	90	10
36,0	71	29	91	9

3.5. Composição mineral das plantas de alface e cenoura

Na alface 'Mimosa', no tratamento com cádmio ocorreu efeito significativo nos teores de K nas FS, FI, e RA, ocorrendo diminuição desse teor com o aumento das doses de Cd no solo. Com relação ao Ca, aumentando-se as doses, aumentou a concentração do elemento nas folhas inferiores. O teor de Mg também aumentou, mas o modelo de resposta foi exponencial, enquanto que no Ca foi raiz quadrada. O Cu diminui com o aumento da concentração de Cd, sendo o efeito significativo somente nas folhas superiores e nas folhas

inferiores. O modelo que melhor se ajustou foi o exponencial. O conteúdo nas folhas superiores de P, K, Ca, Mg, Mn e Cu diminuiu com o aumento da concentração de Cd no solo. Somente o Mg teve o conteúdo na raiz afetado pelo tratamento. A menor produção de matéria seca nas doses maiores, em relação ao tratamento testemunha (ausência de Cd), causou a queda no conteúdo dos elementos.

Na alface 'Regina de Verão' houve tendência de aumento da concentração de K nas raízes e diminuição na concentração de Mg. A concentração de zinco nas folhas superiores e nas folhas inferiores, tendeu a aumentar com o aumento das doses de Cd, ficando na faixa ótima da maioria das culturas. O modelo de resposta que melhor se ajustou a esses elementos foi o exponencial. O Cu, apesar de absorvido pelas raízes dessa variedade, não foi translocado à parte aérea (FS+FI), diferindo da 'Mimosa'. Em termos de conteúdo ocorreu efeito significativo do tratamento sobre os conteúdos de P, Ca, Mn nas FS, FI e RA, causando diminuição do conteúdo desses elementos com o aumento das doses de Cd. O mesmo efeito foi observado na 'Mimosa', com exceção do K e Mg, cuja distribuição foi afetada na 'Mimosa', o que não ocorreu na 'Regina de Verão'. Esses resultados reforçam as observações de outros autores, como Xue e Harrison (1991), citados por GOMES (1996), que variedades de alface respondem de forma diferenciada à presença do Cd no meio de cultivo.

A concentração de P nas folhas superiores reduziu com o aumento das doses do Zn no solo e nas raízes aumentou. O modelo de resposta que apresentou melhor ajuste foi o exponencial. A concentração de K aumentou nas folhas inferiores. O Mg teve sua concentração reduzida nas folhas superiores, nas folhas inferiores e conseqüentemente, na parte aérea, o modelo de resposta observado foi raiz quadrada. A concentração de Mn e Cu nas raízes apresentou ligeira tendência de aumento. Nos conteúdos, o P, Ca e Mg nas folhas inferiores apresentaram ligeira tendência de queda.

A concentração de Ca e Mg, nas folhas inferiores, diminuíram com o aumento das doses de Zn. Não foi observado nenhum efeito da presença do Zn sobre a concentração de Fe na parte aérea e nas raízes.

O conteúdo de P, nas folhas superiores, nas folhas inferiores e nas raízes, reduziu com o aumento das doses de Zn. O conteúdo de K e Ca nas

folhas superiores também diminuí. No caso do Ca, esse efeito também foi observado nas folhas inferiores. O Mg e o Mn tiveram seus conteúdos reduzidos nas folhas inferiores. Com relação às raízes, além do P, o K, Ca, Mg, Cu e também o Cd apresentaram redução no conteúdo com o aumento das doses de Zn no vaso.

Na cenoura 'Brasília' ocorreu efeito significativo do Cd, reduzindo as concentrações de Ca, Cu e Mn na parte aérea. Nas raízes esse efeito foi observado sobre as concentrações de K, Ca, Fe, Mn. Na variedade Nantes ocorreu diminuição nas concentrações de Ca na parte aérea e aumento nas raízes. Na 'Brasília', somente os conteúdos de K, Zn, Cu e Mn na parte aérea reduziram devido ao tratamento. Na variedade Nantes não foi observado nenhum efeito sobre o conteúdo

Quanto ao Zn, na cenoura 'Brasília' houve efeito significativo sobre as concentrações de Mn na parte aérea e na raiz e do Cu na parte aérea. O modelo de regressão que melhor se ajustou foi o quadrático. Na cenoura 'Nantes', a concentração de Ca na raiz e de Fe na parte aérea foi influenciada pelo tratamento, os modelos de ajuste foram o raiz quadrada e o quadrático, respectivamente. Na 'Brasília', os conteúdos de K e Cu na parte aérea foram significativos e na cenoura 'Nantes' somente o Mn e o P na raiz foram influenciados pelos tratamentos.

4. CONCLUSÕES

Devido aos resultados encontrados nesse experimento, pôde-se chegar às seguintes conclusões:

- O Cd causou redução na produção de matéria seca tanto na parte aérea como nas raízes das variedades de alface.
- A absorção e distribuição do Cd são diferenciadas entre as variedades de alface.
- O Zn não prejudicou a produção de matéria seca da parte aérea nas duas variedades de alface, mesmo em altas concentrações, provavelmente devido à presença de mecanismo de tolerância nas plantas.
- A produção de MS das variedades de cenoura não foi influenciada significativamente pelos tratamentos com Cd e Zn.
- Tanto o Cd como o Zn são, preferencialmente, transportados para a parte aérea nas variedades de cenoura.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLOWAY, B.J. **Heavy metals in soils**. New York, John Wiley, 1990. 339p.
- BRAGA, J.M. & 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.
- CHESWORT, W. Geochemistry of micronutrients. In: **Micronutrients in agriculture**. (MORTVEDT, J.J. et al.) 2 ed. Madison, Wisconsin: Soil Sci. Soc. Am., 1991. p. 1-30.
- COSTA, C.A.; SANTOS, I.C.; CASALI, V.W.D.; JORDÃO, C.P. Redução da absorção de cádmio pela alface cv. BR-221 por meio de cultivo com compostos orgânicos. **Hort. Bras.**, v,12, p.136-139, 1994.
- CUNHA, R.C.A. **Retenção e movimento de zinco em solos do estado de São Paulo**. Piracicaba, SP: USP. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, 1989. 115p.
- DAVIES, K.L.; DAVIES, M.S.; FRANCIS, D. The influence of an inhibitor of phytochelatin synthesis on root growth and root meristematic activity in *Festuca rubra* L. in response to zinc. **New Phytol.** 118: 565-570, 1991.
- DEFELIPO, B.V. & 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.
- FOY, C.D.; CHANEY, R.L.; WHITE, M.C. The physiology of metal toxicity in plants. **Ann. Rev. Plant. Physiol.**, 29: 511-66, 1978.
- GÁRATE, A.; RAMOS, I.; LUCENA, J.J. Efecto del cadmio sobre la absorcion y distribución de manganeso en distintas variedades de *Lactuca*. **Suelo Planta**, v.2, p. 581-591, 1992.

- 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. Dissertação (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa.
- GUO, Y.T. & MARSCHNER, H. Uptake, distribution, and binding of cadmium and nickel in different plant species. **J. Plant Nutr.**, v. 18, p. 2691-2706, 1995.
- JURADO, S.G. **Efeitos do cádmio no arroz (*Oryza sativa* L.) e no feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivados em solução nutritiva.** Piracicaba: ESALQ, 1989. 139p. (Tese de Mestrado)
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants.** 3 ed. Boca Raton, Flórida, CRC Press, 1992. 315p.
- KOCHIAM, L.V. Mechanism of micronutrient uptake and translocation in plants. In: **Micronutrients in agriculture.** (MORTVEDT, J.J. et al.) 2 ed. Madison, Wisconsin: Soil Sci. Soc. Am., 1991. p. 229-296.
- LINDSAY, W.L. **Chemical equilibria in soils.** New York, John Wiley & sons, 1979. 449p.
- MACNICOL, R.D. & BECKETT, P.H.T. Critical tissue concentrations of potentially toxic elements. **Plant and Soil**, 85:107-129, 1985.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas.** São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 252p.
- MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes. Metais pesados, mitos, mistificação e fatos.** São Paulo: ProduQuímica, 1994. 153p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** New York: Academic Press, 1995. 889p.
- MUNIZ, L.L.F. **Adsorção de zinco em solos do Vale do Aço Mineiro, afetada pela remoção da matéria orgânica, óxidos de ferro e óxidos de manganês.** Viçosa, MG: UFV. Imp. Universitária, Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal de Viçosa, 1995. 81p.
- MURTHY, A.S.P. Zinc fractions in wetland rice soils and their availability to rice. **Soil Sci.** v. 133, n. 3, p. 150-154, 1982.
- NASCENTES, C.C. **Efeitos do composto de lixo urbano na disponibilidade e absorção de metais pesados em alface.** Viçosa: UFV. Imp. Universitária (Dissertação Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal de Viçosa. 1998.99p.
- NASCIMENTO, C.W.A.; FONTES, R.L.F.; NEVES, J.C.L. Mineral composition of two Brazilian corn cultivars as a function of cadmium in the nutrient solution. **J. Plant Nutr.**, v.21, p. 2369-2379, 1998.

- OLIVEIRA, J.A.; OLIVA, M.A.; CAMBRAIA, J. et al. Effects of cadmium on chlorophyll contents and on peroxidase activity in soybean. **Rev. Bras. Fisiol. Veg.**, Londrina, v.6, n.2, p. 97-101, 1994a.
- OLIVEIRA, J.A.; OLIVA, M.A.; CAMBRAIA, J.; ALVAREZ V., V.H. Absorption, accumulation and distribution of cadmium by two soybeans CVS. **Rev. Bras. Fisiol. Veg.**, Londrina, v.6, n.2, p. 91-95, 1994b.
- PAIS, I & JONES Jr, J.B. **The handbook of trace elements**. CRC Press, Boca Raton, Flórida, 2000. 223p.
- PRASAD, M.N.V. Cadmium toxicity and tolerance in vascular plants. **Environmental and Experimental Botany**. v. 35, n. 4, p. 525-545, 1995a.
- PRASAD, M.N.V. Inhibition of maize leaf chlorophyllis, carotenoids and gas exchange functions by cadmium. **Photosynthetica**. 31: 4, 635-640, 1995b.
- ROBINSON, N.J. Metal-binding polypeptides in plants. In: **Heavy metal tolerance in plants: evolutionary aspects**. (A.J. Shaw, ed). CRC Press, Boca Raton, Florida. 1990. p. 195-214.
- ROOT, A.R.; MILLER, R.J.; KOEPPE, D.E. Uptake of cadmium – its toxicity, and effect on the iron ratio in hidroponically grow 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.** 11(5): 577-588, 1988.
- 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.
- SRIVASTAVA, P.C. & GUPTA, U.C. **Trace elements in crop production**. New Delhi: Science Publishers, 1996. 356p.
- Van STEVENINCK, R.F.M.; Van STEVENINCK, M.E.; FERNANDO, D.R.; GODBOLD, D.L.; HORST, W.J.; MARSCHNER, H. Identification of zinc-containing globules in roots of a zinc-tolerant ecotype of *Deschampsia caespitosa*. **J. Plant Nutr.** 10 (9-16): 1239-1246, 1987a.
- Van STEVENINCK, R.F.M.; Van STEVENINCK, M.E.; FERNANDO, D.R.; HORST, W.J.; MARSCHNER, H. Deposition of zinc phytate in globular bodies in roots of *Deschampsia caespitosa* ecotypes; a detoxification mechanism? **J. Plant Physiol.** 131: 247-257, 1987b.
- WILLIAMS, C.H. & DAVID, D.J. The accumulation in soil of cadmium residues from phosphate fertilizers and their effect on the cadmium content of plants. **Soil Sci.**, 121: 86-93, 1976.
- WONG, M.K.; CHUAN, G.K.; KOH, L.L. et al. The uptake of cadmium by *Brassica chinensis* and its effect on plant zinc and iron distribution. **Envir. Exper. Bot.**, Oxford, v. 24, n. 2, p. 189-195, 1984.

APÉNDICE

Quadro 1A – Matéria fresca (MF) das folhas superiores (FS), folhas inferiores (FI), raízes (RA) e total (T) de plantas de alface colhidas após 44 dias de crescimento em amostras do LV submetidas a doses crescentes de Cd

Cd	Matéria Fresca							
	Mimosa				Regina de Verão			
	<i>FS</i>	<i>FI</i>	<i>RA</i>	<i>T</i>	<i>FS</i>	<i>FI</i>	<i>RA</i>	<i>T</i>
mg dm ⁻³	g							
0,0	54,82	20,26	7,77	82,85	76,78	9,92	25,56	112,26
0,4	44,33	14,86	3,88	63,07	65,74	9,62	27,67	103,03
1,6	41,45	13,81	6,66	61,92	71,19	9,71	27,73	108,63
3,2	39,93	14,30	6,03	60,26	56,06	8,16	26,83	91,05
9,6	22,09	10,31	2,67	35,07	37,78	5,60	16,36	59,74

Quadro 2A – Matéria fresca (MF) das folhas superiores (FS), folhas inferiores (FI), raízes (RA) e total (T) de plantas de alface colhidas após 44 dias de crescimento em amostras do LV submetidas a doses crescentes de Zn

Zn	Matéria Fresca							
	Mimosa				Regina de Verão			
	<i>FS</i>	<i>FI</i>	<i>RA</i>	<i>T</i>	<i>FS</i>	<i>FI</i>	<i>RA</i>	<i>T</i>
mg dm ⁻³	g							
0,0	49,49	14,65	4,85	68,99	78,51	11,32	26,28	116,11
2,0	51,60	16,63	5,55	73,78	79,48	8,95	25,36	113,79
6,0	46,86	18,03	6,00	70,89	74,28	8,76	24,85	107,89
18,0	43,35	14,51	3,66	61,52	71,00	6,85	16,08	93,93
36,0	43,76	14,96	3,23	61,95	62,89	7,29	15,08	85,26

Quadro 3A – Matéria fresca (MF) da parte aérea (PA), raízes (RA) e total (T) de plantas de cenoura colhidas após 57 dias de crescimento em amostras do LV submetidas a doses crescentes de Cd

Cd	Matéria Fresca					
	Brasília			Nantes		
	<i>PA</i>	<i>RA</i>	<i>T</i>	<i>PA</i>	<i>RA</i>	<i>T</i>
mg dm ⁻³	g					
0,0	3,30	1,96	5,26	3,74	1,22	4,96
0,4	3,99	3,43	7,42	5,40	1,87	7,27
1,6	2,11	0,82	2,93	4,37	1,15	5,52
3,2	5,27	4,35	9,62	3,92	1,11	5,03
9,6	4,40	4,94	9,34	4,67	0,90	5,57

Quadro 4A – Matéria fresca (MF) da parte aérea (PA), raízes (RA) e total (T) de plantas de cenoura colhidas após 57 dias de crescimento em amostras do LV submetidas a doses crescentes de Zn

Zn	Matéria Fresca					
	Brasília			Nantes		
	<i>PA</i>	<i>RA</i>	<i>T</i>	<i>PA</i>	<i>RA</i>	<i>T</i>
mg dm ⁻³	g					
0,0	2,27	2,04	4,31	3,57	0,97	4,54
2,0	4,82	3,80	8,62	7,35	1,95	9,30
6,0	5,38	4,04	9,42	4,52	2,50	7,02
18,0	3,56	1,92	5,48	5,88	1,45	7,33
36,0	3,44	2,64	6,08	3,32	0,67	3,99

Quadro 5A – Concentrações de nutrientes nas folhas superiores (FS), folhas inferiores (FI) e raízes (RA) de plantas de alface, em função da concentração de Cd em amostras do LV

Cd		Mimosa											
		<i>FS</i>				<i>FI</i>				<i>RA</i>			
		P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg
mg dm ⁻³		----- mg g ⁻¹ -----											
0,0		7,6	21,4	4,4	3,9	4,3	11,3	9,3	6,4	5,8	3,5	5,8	2,0
0,4		7,5	20,2	4,3	4,2	5,0	14,3	11,5	7,5	6,2	4,3	6,1	2,3
1,6		7,7	22,7	4,8	4,2	4,9	16,3	12,6	7,8	6,5	5,8	7,1	2,3
3,2		7,7	24,2	4,9	4,2	5,0	18,2	13,4	8,3	6,3	3,0	7,0	2,3
9,6		8,5	16,7	4,8	4,0	4,1	8,0	13,6	8,4	6,7	5,4	5,7	1,9
		Fe	Zn	Cu	Mn	Fe	Zn	Cu	Mn	Fe	Zn	Cu	Mn
		----- µg g ⁻¹ -----											
0,0		128,8	33,4	2,7	141,6	521,8	30,1	2,2	304,9	5869,3	130,0	30,4	51,7
0,4		129,7	18,9	2,6	145,6	667,4	11,9	4,2	285,0	5248,4	122,7	39,1	53,2
1,6		129,7	16,5	2,0	137,8	507,0	7,5	1,7	353,8	5793,4	110,5	34,1	63,0
3,2		131,7	23,2	2,2	138,8	645,8	12,6	1,9	412,7	4940,9	165,7	33,6	55,0
9,6		143,3	21,0	0,8	117,0	718,6	6,5	0,8	360,3	6513,8	181,2	45,2	66,5
Cd		Regina de Verão											
		<i>FS</i>				<i>FI</i>				<i>RA</i>			
		P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg
mg dm ⁻³		----- mg g ⁻¹ -----											
0,0		5,2	13,6	5,7	5,1	4,1	15,3	13,3	11,0	6,2	8,3	5,6	3,8
0,4		6,5	17,0	7,8	6,2	4,2	12,1	15,3	12,3	6,5	10,1	5,8	3,8
1,6		6,4	15,5	6,9	5,6	3,9	14,0	14,9	11,8	6,1	9,6	5,7	3,7
3,2		6,8	16,1	8,0	6,5	3,9	14,5	18,2	13,6	6,8	8,8	6,7	3,4
9,6		5,9	14,8	7,3	6,0	3,7	11,6	16,4	12,3	5,9	13,2	6,2	3,0
		Fe	Zn	Cu	Mn	Fe	Zn	Cu	Mn	Fe	Zn	Cu	Mn
		----- µg g ⁻¹ -----											
0,0		156,6	22,4	0	182,3	628,8	13,1	0	551,2	4332,4	75,3	20,5	64,3
0,4		177,6	31,3	0	232,5	1250,2	16,4	0	601,9	4963,7	63,3	19,5	60,5
1,6		253,2	29,6	0	219,4	1272,6	21,6	0	657,7	4059,2	65,7	17,7	50,0
3,2		203,5	30,8	0	244,7	688,5	17,7	0	619,6	4698,3	71,3	19,0	48,6
9,6		202,5	34,6	0	221,8	504,2	25,5	0	559,7	4785,1	72,7	30,1	60,0

Quadro 6A – Conteúdo de nutrientes nas folhas superiores (FS), folhas inferiores (FI) e raízes (RA) de plantas de alface, em função da concentração de Cd em amostras do LV

Cd	Mimosa											
	FS				FI				RA			
	P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg
mg dm ⁻³	----- mg -----											
0,0	34,6	98,9	19,9	17,9	7,9	21,7	17,2	11,9	6,0	3,6	6,0	2,1
0,4	28,3	76,8	16,4	15,8	7,2	20,4	16,4	10,7	4,8	3,5	4,7	1,8
1,6	27,5	79,0	17,3	14,9	6,2	20,5	15,9	9,7	5,4	5,1	5,9	1,9
3,2	25,2	78,7	15,9	13,8	6,4	23,6	17,1	10,5	5,4	2,5	6,0	2,0
9,6	19,7	38,2	11,2	9,2	4,4	8,6	14,7	9,09	3,4	2,7	2,9	1,0
	Fe	Zn	Cu	Mn	Fe	Zn	Cu	Mn	Fe	Zn	Cu	Mn
	----- µg -----											
0,0	583,0	151,0	12,3	641,3	968,0	55,8	4,1	565,5	6043,6	134,5	31,5	53,5
0,4	489,3	71,3	9,9	549,2	952,7	17,0	6,0	549,6	4054,4	94,8	30,2	41,1
1,6	462,9	58,8	7,0	492,0	936,2	9,4	2,1	444,0	4823,0	92,0	28,4	52,4
3,2	427,6	75,3	7,2	450,8	820,1	16,0	2,4	524,2	4212,1	141,3	28,7	46,9
9,6	332,5	48,7	1,9	271,5	776,0	7,0	0,9	389,2	3289,5	91,5	22,8	33,6
Cd	Regina de Verão											
	FS				FI				RA			
	P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg
mg dm ⁻³	----- mg -----											
0,0	44,7	88,4	48,2	43,5	4,2	15,9	13,7	11,4	13,7	18,2	12,2	8,3
0,4	42,1	110,4	50,5	40,44	4,0	11,8	14,7	11,9	13,6	21,6	12,3	8,0
1,6	46,3	111,8	50,1	40,7	3,6	13,4	13,9	11,0	13,8	21,5	12,9	8,4
3,2	36,9	88,0	43,7	35,5	3,1	11,6	14,5	10,8	13,2	17,4	12,9	6,6
9,6	24,0	60,2	29,6	24,3	2,3	7,6	10,3	7,7	8,1	15,7	8,5	4,1
	Fe	Zn	Cu	Mn	Fe	Zn	Cu	Mn	Fe	Zn	Cu	Mn
	----- µg -----											
0,0	1333,9	190,7	0	1552,9	4,2	13,4	0	567,7	9498,8	165,0	45,0	141,0
0,4	1152,5	203,4	0	1509,2	4,0	15,8	0	580,8	10473	133,5	41,1	127,7
1,6	1841,2	215,4	0	1595,3	3,6	20,1	0	613,3	9214,4	149,1	40,1	113,5
3,2	1110,2	167,8	0	1334,7	3,1	14,1	0	492,6	9067,7	137,7	36,7	93,7
9,6	823,3	140,5	0	901,6	2,3	15,9	0	349,8	6567,5	99,7	41,4	82,4

Quadro 7A – Concentrações de nutrientes e Cd nas folhas superiores (FS), folhas inferiores (FI) e raízes (RA) de plantas de alface, em função da concentração de Zn em amostras do LV

Zn	Mimosa											
	<i>FS</i>				<i>FI</i>				<i>RA</i>			
	P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg
mg dm ⁻³	-----				mg g ⁻¹				-----			
0,0	7,4	18,5	4,5	4,1	4,6	11,9	11,5	7,5	5,8	4,0	6,1	2,1
2,0	7,3	19,7	4,3	3,5	4,5	13,5	10,6	6,3	6,7	4,7	5,5	2,1
6,0	6,9	20,7	4,5	3,6	3,6	15,4	10,0	6,0	5,7	3,8	6,3	2,2
18,0	5,9	20,5	4,6	3,6	3,5	14,1	10,1	6,1	7,0	7,5	5,1	2,1
36,0	5,8	16,5	4,6	3,5	3,7	16,9	10,5	6,0	7,0	5,4	6,0	2,2
	Fe	Cu	Mn	Cd	Fe	Cu	Mn	Cd	Fe	Cu	Mn	Cd
	-----				μg g ⁻¹				-----			
0,0	138,5	1,0	144,8	0,9	692,5	1,6	367,6	1,1	4747,3	30,8	54,2	1,3
2,0	118,0	1,2	129,7	0,7	796,9	0,7	312,1	0,9	5213,0	30,1	52,8	1,0
6,0	137,1	0,7	142,0	0,7	653,1	1,0	322,5	0,9	4793,3	36,7	51,5	0,9
18,0	171,9	0,8	147,5	0,7	550,3	0,6	296,0	0,7	4133,2	42,0	60,3	0,8
36,0	127,2	4,2	158,6	0,7	618,9	0,8	299,2	0,8	5276,2	41,6	74,5	1,2
Zn	Regina de Verão											
	<i>FS</i>				<i>FI</i>				<i>RA</i>			
	P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg
mg dm ⁻³	-----				mg g ⁻¹				-----			
0,0	5,45	16,8	6,9	4,0	4,2	14,1	12,1	9,6	5,3	8,7	5,2	3,8
2,0	5,1	15,8	5,0	4,5	3,6	15,9	9,8	7,3	4,9	8,6	5,3	4,1
6,0	5,8	18,4	6,3	4,7	4,0	19,5	11,6	7,7	5,3	8,3	5,1	3,7
18,0	5,9	17,8	6,4	4,5	4,0	17,7	11,6	7,2	6,1	9,7	5,4	3,9
36,0	4,7	14,8	4,7	3,7	3,4	20,8	8,5	5,8	5,9	8,9	5,2	3,3
	Fe	Cu	Mn	Cd	Fe	Cu	Mn	Cd	Fe	Cu	Mn	Cd
	-----				μg g ⁻¹				-----			
0,0	158,4	0	191,5	0,8	620,9	0	435,2	0,4	4327,7	19,7	57,3	0,7
2,0	166,7	0	187,1	0,4	899,3	0	377,2	0,6	4634,5	22,4	55,4	0,6
6,0	187,1	0	206,8	0,4	816,1	0	439,5	0,6	6473,6	25,2	53,6	0,5
18,0	203,0	0	213,8	0,4	1395,0	0	476,7	0,6	4432,9	20,5	76,2	0,5
36,0	167,2	0	169,2	0,5	971,5	0	308,6	0,5	4731,8	18,4	67,7	0,6

Quadro 8A – Conteúdo de nutrientes e Cd nas folhas superiores (FS), folhas inferiores (FI) e raízes (RA) de plantas de alface, em função da concentração de Zn em amostras do LV

Zn	Mimosa											
	<i>FS</i>				<i>FI</i>				<i>RA</i>			
	P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg
mg dm ⁻³	----- mg -----											
0,0	32,8	82,9	19,9	18,5	7,0	18,4	17,6	11,4	4,7	3,4	5,0	1,8
2,0	33,2	89,0	19,7	15,8	7,8	23,7	18,4	10,9	6,6	4,8	5,4	2,1
6,0	27,9	81,2	18,2	14,5	6,5	28,2	18,1	10,9	5,4	3,5	6,1	2,1
18,0	23,6	80,8	18,5	14,5	5,2	20,8	14,9	9,0	4,9	5,1	3,6	1,5
36,0	25,0	70,1	19,6	14,9	5,9	27,3	16,7	9,6	4,9	3,4	4,2	1,5
	Fe	Cu	Mn	Cd	Fe	Cu	Mn	Cd	Fe	Cu	Mn	Cd
	----- µg -----											
0,0	618,2	4,5	645,9	4,0	1054,4	2,4	559,7	1,7	3892,7	25,3	44,4	1,0
2,0	534,4	5,2	587,3	3,3	1382,6	1,2	541,5	1,5	5108,7	29,5	51,7	1,0
6,0	551,7	2,7	571,7	2,8	1177,2	1,7	581,4	1,6	4577,6	35,0	49,1	0,8
18,0	690,0	3,0	592,1	2,6	814,5	0,9	438,1	1,0	2934,6	29,8	42,8	0,6
36,0	541,7	17,8	675,6	2,9	985,6	1,3	476,5	1,3	3667,0	28,9	51,8	0,9
Zn	Regina de Verão											
	<i>FS</i>				<i>FI</i>				<i>RA</i>			
	P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg
mg dm ⁻³	----- mg -----											
0,0	47,2	143,6	59,7	34,6	5,0	17,3	14,4	11,5	13,1	21,3	13,0	9,6
2,0	46,6	141,4	45,3	40,8	3,8	16,2	10,2	7,6	11,8	20,4	12,7	9,7
6,0	44,3	140,8	48,4	36,5	3,6	17,5	10,6	7,0	11,6	18,0	11,1	8,1
18,0	45,8	132,6	49,9	34,9	3,1	13,7	8,9	5,5	9,4	14,8	8,2	6,0
36,0	37,1	118,0	37,6	29,4	2,8	17,3	7,1	4,9	9,5	13,9	8,3	5,3
	Fe	Cu	Mn	Cd	Fe	Cu	Mn	Cd	Fe	Cu	Mn	Cd
	----- µg -----											
0,0	1371,6	0	1658,4	6,8	738,9	0	517,8	0,5	10754	48,9	142,3	1,7
2,0	1511,7	0	1697,1	3,3	935,3	0	392,2	0,6	11076	53,4	132,4	1,3
6,0	1437,0	0	1588,8	2,9	742,7	0	400,0	0,5	14080	54,9	116,6	1,1
18,0	1581,1	0	1665,3	3,2	1070,7	0	365,9	0,4	6815,6	31,5	117,2	0,8
36,0	1324,9	0	1340,5	3,6	816,1	0	259,3	0,4	7582,7	29,5	108,5	1,0

Quadro 9A – Concentrações de nutrientes e Cd na parte aérea (PA) e raízes (RA) de plantas de cenoura, em função da concentração de Zn em amostras do LV

Zn	Brasília							
	<i>PA</i>				<i>RA</i>			
	P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg
mg dm ⁻³	----- mg g ⁻¹ -----							
0,0	6,5	69,6	15,9	5,5	4,0	28,6	1,4	1,4
2,0	5,4	67,0	23,4	5,0	5,2	31,2	1,7	1,5
6,0	5,9	70,3	17,7	4,8	5,0	29,6	1,7	1,0
18,0	5,7	66,1	18,6	5,0	4,8	40,0	1,9	1,0
36,0	5,5	66,4	18,9	5,4	3,2	31,2	1,3	2,9
	Fe	Cu	Mn	Cd	Fe	Cu	Mn	Cd
	----- µg g ⁻¹ -----							
0,0	256,8	1,6	299,7	2,0	3192,7	0	51,0	16,4
2,0	328,8	3,7	362,6	1,2	947,00	0	46,0	2,1
6,0	134,1	4,0	476,6	1,2	1588,1	0	56,1	2,7
18,0	324,4	6,3	622,3	1,3	2407,2	0	92,4	6,2
36,0	231,1	2,9	415,1	2,4	3286,1	0	45,0	16,2
Zn	Nantes							
	<i>PA</i>				<i>RA</i>			
	P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg
mg dm ⁻³	----- mg g ⁻¹ -----							
0,0	7,1	66,2	14,5	5,0	5,6	54,8	3,0	1,7
2,0	6,2	66,7	16,0	4,6	6,4	41,5	2,7	1,5
6,0	6,5	46,5	16,4	4,9	7,3	43,0	2,9	1,3
18,0	6,8	65,0	14,6	5,3	6,6	54,2	2,5	1,4
36,0	6,1	55,4	16,6	5,1	4,6	50,7	3,4	1,3
	Fe	Cu	Mn	Cd	Fe	Cu	Mn	Cd
	----- µg g ⁻¹ -----							
0,0	149,1	5,3	357,8	1,9	2793,6	0	38,2	7,0
2,0	131,2	4,8	402,0	1,2	1245,6	0	48,5	3,3
6,0	99,2	2,6	425,3	1,2	1123,6	0	97,1	2,7
18,0	111,0	3,4	384,4	1,2	1447,4	0	59,0	6,1
36,0	239,9	2,7	537,8	1,2	2543,9	0	56,4	7,4

Quadro 10A – Conteúdo de nutrientes e Cd na parte aérea (PA) e raízes (RA) de plantas de cenoura, em função da concentração de Zn em amostras do LV

Zn	Brasília							
	<i>PA</i>				<i>RA</i>			
	P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg
mg dm ⁻³	----- mg -----							
0,0	2,7	27,5	6,5	2,3	1,0	5,8	0,4	0,3
2,0	4,8	60,4	20,7	4,5	2,5	12,0	0,8	0,7
6,0	5,2	59,7	15,5	4,2	2,4	12,1	0,8	0,5
18,0	3,8	42,6	12,2	3,3	1,2	7,5	0,4	0,2
36,0	3,3	36,4	11,3	3,2	1,1	9,2	0,5	1,0
	Fe	Cu	Mn	Cd	Fe	Cu	Mn	Cd
	----- µg -----							
0,0	105,3	0,6	122,9	0,8	806,2	0	12,9	4,1
2,0	291,8	3,2	321,8	1,1	454,6	0	22,1	1,0
6,0	117,0	3,5	415,8	1,0	766,3	0	27,1	1,3
18,0	213,3	4,1	409,1	0,9	589,8	0	22,6	1,5
36,0	138,7	1,7	249,0	1,4	1150,2	0	15,8	5,7
Zn	Nantes							
	<i>PA</i>				<i>RA</i>			
	P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg
mg dm ⁻³	----- mg -----							
0,0	4,5	41,7	9,1	3,1	0,7	7,3	0,4	0,2
2,0	7,9	84,8	20,5	5,9	2,1	13,0	0,9	0,5
6,0	6,9	50,0	17,4	5,2	3,4	16,3	0,8	0,4
18,0	6,8	61,8	14,7	5,3	1,3	9,1	0,5	0,3
36,0	3,7	34,8	10,2	3,1	0,4	5,1	0,3	0,1
	Fe	Cu	Mn	Cd	Fe	Cu	Mn	Cd
	----- µg -----							
0,0	94,3	3,4	226,3	1,2	370,2	0	5,1	0,9
2,0	168,2	6,1	515,5	1,5	414,2	0	16,1	1,1
6,0	105,2	2,8	450,8	1,3	269,1	0	24,8	0,7
18,0	111,6	3,4	386,3	1,2	160,0	0	10,4	0,4
36,0	147,5	1,7	330,7	0,7	248,0	0	5,5	0,7

Quadro 11A – Concentrações de nutrientes na parte aérea (PA) e raízes (RA) de plantas de cenoura, em função da concentração de Cd em amostras do LV

Cd		Brasília							
		<i>PA</i>				<i>RA</i>			
		P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg
mg dm ⁻³	-----	mg g ⁻¹ -----							
0,0		5,6	66,3	22,9	5,7	4,7	31,5	3,1	1,9
0,4		6,0	69,1	20,5	5,7	4,2	31,8	2,0	1,8
1,6		5,5	64,8	19,0	5,8	3,5	30,9	2,8	1,7
3,2		5,9	69,5	17,5	5,2	5,3	25,0	1,3	1,3
9,6		5,9	61,4	16,1	5,4	3,9	21,6	1,0	1,2
		Fe	Zn	Cu	Mn	Fe	Zn	Cu	Mn
	-----	μg g ⁻¹ -----							
0,0		319,1	22,9	5,0	427,1	2304,5	84,2	0	51,9
0,4		166,2	22,1	2,8	324,1	1217,3	66,9	0	41,1
1,6		192,2	31,6	2,8	267,0	4518,9	141,4	0	58,4
3,2		122,0	17,2	3,9	261,8	950,8	27,1	0	32,3
9,6		204,6	20,4	2,6	196,0	1333,2	40,2	0	20,0
Cd		Nantes							
		<i>PA</i>				<i>RA</i>			
		P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg
mg dm ⁻³	-----	mg g ⁻¹ -----							
0,0		9,1	67,9	16,6	5,7	8,6	45,3	0,9	2,0
0,4		6,4	65,7	15,7	5,1	8,6	52,3	2,3	1,8
1,6		8,9	55,7	13,7	5,3	7,9	49,3	3,4	2,4
3,2		10,2	61,6	12,8	5,1	8,6	43,0	3,0	2,0
9,6		7,9	78,6	13,9	5,4	10,5	49,0	4,6	1,8
		Fe	Zn	Cu	Mn	Fe	Zn	Cu	Mn
	-----	μg g ⁻¹ -----							
0,0		490,5	30,5	4,4	256,3	6122,2	165,5	0	74,5
0,4		135,0	33,8	4,3	217,5	1189,3	64,0	0	56,1
1,6		337,2	25,9	5,2	205,7	2049,3	79,6	0	28,6
3,2		149,0	26,1	5,6	315,2	1267,8	89,0	0	39,7
9,6		132,9	31,7	8,6	250,7	1792,1	135,6	0	25,1

Quadro 12A – Conteúdo de nutrientes na parte aérea (PA) e raízes (RA) de plantas de cenoura, em função da concentração de Cd em amostras do LV

Cd	Brasília							
	<i>PA</i>				<i>RA</i>			
	P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg
mg dm ⁻³	----- mg -----							
0,0	3,3	37,7	13,3	3,3	1,2	7,0	0,8	0,5
0,4	4,5	51,4	15,4	4,3	1,7	10,5	0,8	0,7
1,6	2,1	24,5	7,3	2,2	0,4	3,1	0,4	0,2
3,2	4,8	56,5	14,4	4,2	2,8	12,3	0,7	0,7
9,6	4,3	44,8	11,8	4,0	2,2	11,3	0,6	0,7
	Fe	Zn	Cu	Mn	Fe	Zn	Cu	Mn
	----- µg -----							
0,0	185,9	13,3	2,9	248,8	576,1	21,1	0	13,0
0,4	124,7	16,6	2,1	243,1	483,9	26,6	0	16,3
1,6	75,0	12,1	1,1	102,1	564,9	17,7	0	7,3
3,2	100,0	14,1	3,2	214,7	499,2	14,2	0	17,0
9,6	150,4	15,0	1,9	144,1	759,9	22,9	0	11,4
Cd	Nantes							
	<i>PA</i>				<i>RA</i>			
	P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg
mg dm ⁻³	----- mg -----							
0,0	6,4	45,1	11,6	4,0	1,3	7,0	0,1	0,3
0,4	5,9	61,4	14,5	4,7	1,9	11,5	0,5	0,4
1,6	6,5	40,4	10,1	3,9	1,2	7,0	0,5	0,4
3,2	6,9	41,0	8,6	3,4	1,4	6,6	0,5	0,3
9,6	6,3	11,3	11,1	4,3	1,4	6,0	0,6	0,2
	Fe	Zn	Cu	Mn	Fe	Zn	Cu	Mn
	----- µg -----							
0,0	344,6	21,4	3,1	180,0	948,9	25,7	0	11,5
0,4	124,5	31,2	4,0	200,6	264,6	14,3	0	12,5
1,6	247,9	19,0	3,8	151,2	302,3	11,7	0	5,7
3,2	99,8	17,5	3,8	211,2	199,7	14,0	0	6,3
9,6	106,0	25,3	6,8	199,9	233,0	17,6	0	3,3

Quadro 13A - Resumo da análise de variância para produção de matéria seca, teores e conteúdos de cádmio (Cd) nas FS, FI e RA de plantas de alface em função da concentração de Cd (mg dm^{-3}) em amostras do LV

FV	G.L.	Matéria Seca					
		Mimosa			Regina de Verão		
		FS	FI	RA	FS	FI	RA
----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	0,8048	0,0301	0,0857	0,7317	0,0327	0,2622
Dose	4	2,5903	0,3456*	0,1468	11,6012*	0,1042*	0,5176
Resíduo	12	0,7230	0,0527	0,0364	1,9782	0,0150	0,2841
C.V. (%)		24,38	16,67	23,86	22,11	14,09	26,99
----- (Quadrados Médios) -----							
Teores							
----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	27,44	321,83	454,85	700,85	1139,32	108,20
Dose	4	1471,19**	4689,06**	24816,72**	14457,55**	44223,54**	21648,78**
Resíduo	12	44,54	127,70	321,55	709,61	2205,80	245,44
C.V. (%)		29,89	30,36	26,17	44,09	50,26	25,08
----- (Quadrados Médios) -----							
Conteúdo							
----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	134,42	368,56	315,39	54178,70	389,58	8495,18
Dose	4	9181,96**	5846,60**	6692,81**	264004,20**	16129,56**	38817,18*
Resíduo	12	504,08	252,70	247,67	15457,11	510,75	5930,66
C.V. (%)		34,47	35,99	35,68	41,17	34,31	76,24

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

Quadro 14A - Resumo da análise de variância para produção de matéria seca, teores e conteúdos de zinco (Zn) nas FS, FI e RA de plantas de alface em função da concentração de Zn (mg dm^{-3}) em amostras do LV

FV	G.L.	Matéria Seca					
		Mimosa			Regina de Verão		
		FS	FI	RA	FS	FI	RA
		----- (Quadrados Médios) -----					
Bloco	3	1,9115	0,0413	0,1179	0,1179	6,1226	0,5429
Dose	4	0,2278	0,0762	0,0783	0,0783	1,4789	0,7826
Resíduo	12	0,9442	0,0865	0,0849	0,0849	0,8545	0,1985
C.V. (%)		22,82	18,08	35,02	35,02	11,24	21,86
		Teores					
		FS	FI	RA	FS	FI	RA
		----- (Quadrados Médios) -----					
Bloco	3	3397,05	18559,30	126944,50	22280,30	63724,34	87150,77
Dose	4	42150,88**	687546,70**	683993,1*	163237,10**	1576085,0**	1062280,0**
Resíduo	12	565,91	11913,50	117095,10	8966,06	42275,67	52919,13
C.V. (%)		17,47	31,98	77,48	39,53	32,86	43,18
		Conteúdo					
		FS	FI	RA	FS	FI	RA
		----- (Quadrados Médios) -----					
Bloco	3	221680,00	97960,00	25471,34	1370229,00	81414,72	647412,40
Dose	4	763747,8**	1780532,0**	246728,4*	9572619,0**	908782,20**	2689573,0*
Resíduo	12	29812,92	84405,63	34088,13	581193,30	45681,89	362713,40
C.V. (%)		29,76	53,24	58,42	40,72	42,41	63,16

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

Quadro 15A - Resumo da análise de variância para produção de matéria seca, teores e conteúdos de cádmio (Cd) na PA e RA de plantas de cenoura em função da concentração de Cd (mg dm^{-3}) em amostras do LV

FV	G.L.	Matéria Seca			
		Brasília		Nantes	
		PA	RA	PA	RA
		----- (Quadrados Médios) -----			
Bloco	3	0,0425	0,1027	0,1594	0,0131
Dose	4	0,1226	0,1391	0,0397	0,0049
Resíduo	12	0,0267	0,0847	0,0741	0,0085
C.V. (%)		24,96	77,92	35,55	56,87
		Teores			
		PA	RA	PA	RA
		----- (Quadrados Médios) -----			
Bloco	3	666,56	253,21	110,53	369,19
Dose	4	11669,91*	1657,99	5910,96**	9032,62**
Resíduo	12	1370,29	412,86	193,63	845,63
C.V. (%)		71,91	71,88	32,34	61,13
		Conteúdo			
		PA	RA	PA	RA
		----- (Quadrados Médios) -----			
Bloco	3	693,96	72,39	857,94	14,07
Dose	4	6626,59*	415,88*	4170,31*	116,20**
Resíduo	12	830,46	61,60	558,99	10,53
C.V. (%)		82,69	86,22	71,51	55,61

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

Quadro 16A - Resumo da análise de variância para produção de matéria seca, teores e conteúdos de zinco (Zn) na PA e RA de plantas de cenoura em função da concentração de Zn (mg dm^{-3}) em amostras do LV

FV	G.L.	Matéria Seca			
		Brasília		Nantes	
		PA	RA	PA	RA
		----- (Quadrados Médios) -----			
Bloco	3	0,1567	0,2079	0,0603	0,0056
Dose	4	0,1597	0,0543	0,3330	0,0675
Resíduo	12	0,0737	0,0817	0,2563	0,0565
C.V. (%)		39,61	78,97	55,12	102,44
		Teores			
		PA	RA	PA	RA
		----- (Quadrados Médios) -----			
Bloco	3	69159,99	361314,00	2809,54	43583,87
Dose	4	704646,20**	274471,80	558918,70**	159868,30*
Resíduo	12	32972,50	216615,70	2760,96	29529,56
C.V. (%)		44,42	157,29	15,20	71,03
		Conteúdo			
		PA	RA	PA	RA
		----- (Quadrados Médios) -----			
Bloco	3	8471,01	799,66	21970,38	53,67
Dose	4	199653,00*	1914,43	199148,90*	840,85
Resíduo	12	37807,54	947,35	22524,80	845,35
C.V. (%)		76,88	76,73	54,05	85,13

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

Quadro 17A – Resumo da análise de variância para teores de nutrientes nas FS, FI e RA da alface Mimosa em função da concentração de Cd (mg dm^{-3}) em amostras do LV

FV	G.L.	FS							
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
		----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	0,1186	3,2331	0,5329	0,0871	181,8265	358,3812	0,3871	224,8126
Dose	4	0,5886	32,7085**	0,2883	0,0730	147,1340	494,1468	2,3054*	170,0267
Resíduo	12	0,4757	3,1245	0,4333	0,2611	522,9276	665,0119	0,3870	242,5584
C.V. (%)		8,83	8,39	14,13	12,44	17,24	18,94	29,94	68,97
		FI							
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
		----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	0,1056	6,3095	14,0815	1,8110	4860,8760	9904,3190	4,3288	367,9261
Dose	4	0,8143	67,0623*	12,6964*	2,5653	34732,0600	6425,6870	6,2817	362,1813
Resíduo	12	0,7717	12,8791	2,5751	0,7297	53078,9400	3702,5390	3,2794	291,0607
C.V. (%)		18,81	26,30	13,27	11,14	37,64	19,75	83,64	124,32
		RA							
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
		----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	0,4513	4,2658	2,3897	0,1535	4972172,00	126,7881	201,7624	2664,2100
Dose	4	0,4248	5,7675	1,7655	0,1256	1465331,00	169,1721	133,6738	3606,3630
Resíduo	12	1,3341	2,6700	2,2850	0,1828	5058540,00	68,6342	133,8633	6131,7880
C.V. (%)		18,34	37,35	23,86	19,75	39,69	14,31	31,71	55,14

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

Quadro 18A – Resumo da análise de variância para conteúdo de nutrientes nas FS, FI e RA da alface Mimosa em função da concentração de Cd (mg dm⁻³) em amostras do LV

FV	G.L.	FS							
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
		----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	36,1537	398,1330	32,5137	19,8579	14233,74	36566,04	8,3363	4341,47
Dose	4	114,3066	1859,7030*	38,5598	40,9338	32697,71	77697,96	60,9138*	7625,58
Resíduo	12	44,2039	253,1074	27,7306	15,8732	26676,72	22395,35	10,7208	5907,08
C.V. (%)		24,62	21,52	32,37	27,76	35,36	31,01	42,38	95,24
		FI							
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
		----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	0,5754	15,9256	34,7724	5,9553	8397,38	27887,77	6,0949	808,2621
Dose	4	7,6045	141,0927	6,1602	5,6013	76330,16	26535,40	13,6504	1086,9540
Resíduo	12	3,7935	49,9067	20,0494	6,1177	85377,65	17343,76	5,6043	662,8726
C.V. (%)		30,22	37,26	27,35	23,75	35,22	26,59	78,46	133,04
		RA							
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
		----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	4,4864	6,7636	3,2877	0,5082	70529,90	667,5025	16,4080	1444,6750
Dose	4	4,0429	4,0961	7,1927	0,8078	4781182,00	300,5946	40,2625	3588,4620
Resíduo	12	3,5024	3,7145	4,7898	0,4519	6218128,00	194,6205	84,7948	3305,1400
C.V. (%)		37,07	55,14	42,52	38,31	52,78	30,28	33,46	51,95

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

Quadro 19A – Resumo da análise de variância para teores de nutrientes e Cd nas FS, FI e RA da alface Mimosa em função da concentração de Zn (mg dm^{-3}) em amostras do LV

FV	G.L.	FS							
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Cd
		----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	0,8296	4,8371	0,6192	0,0405	1963,8840	660,8510	9,6231	0,0174
Dose	4	2,2499	12,2801	0,0428	0,2923*	1662,8480	432,3820	9,9203	0,0339
Resíduo	12	0,9336	7,2149	0,2715	0,0484	2648,8050	1157,1650	10,9740	0,0078
C.V. (%)		14,47	14,01	11,56	5,99	37,15	23,54	236,76	12,03
		FI							
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Cd
		----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	0,3393	14,3961	2,1424	0,5377	40403,88	7194,0350	0,2313	0,0083
Dose	4	1,0325	14,1410	1,4866	1,5726*	33540,76	3337,8540	0,6198	0,0971
Resíduo	12	0,4387	5,9029	0,9876	0,3081	62642,16	1306,0700	0,3129	0,0270
C.V. (%)		16,63	16,91	9,41	8,69	37,79	11,31	60,05	18,66
		RA							
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Cd
		----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	1,8414	18,6116	1,2137	0,1359	2273844,00	869,9913	32,1281	0,1143
Dose	4	1,6634	8,8478	0,9876	0,0127	839491,20	358,9448	129,2346	0,1664
Resíduo	12	0,5634	5,8077	0,6789	0,1441	928252,80	243,0258	48,2874	0,0379
C.V. (%)		11,68	47,48	14,18	17,75	19,94	26,59	19,16	18,71

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

Quadro 20A – Resumo da análise de variância para conteúdo de nutrientes e Cd nas FS, FI e RA da alface Mimosa em função da concentração de Zn (mg dm^{-3}) em amostras do LV

FV	G.L.	FS							
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Cd
		----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	86,6500	500,3916	57,1834	33,2870	83359,99	68780,42	113,1769	2,2548
Dose	4	58,0052	186,4942	5,7131	12,1213	17899,68	12129,59	117,4644	1,3249
Resíduo	12	44,7082	338,8778	33,3894	15,0598	66504,28	41265,63	124,5549	0,9939
C.V. (%)		23,67	22,78	29,74	24,75	43,45	32,91	208,50	31,38
		FI							
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Cd
		----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	1,2750	1,3869	0,1705	77,9494	226316,80	6890,3920	1,0559	0,0138
Dose	4	4,1697	7,5894	3,9573	69,9007	209453,10	13221,5800	1,5567	0,2757
Resíduo	12	1,5589	9,1520	2,0485	45,5363	196223,80	10569,5200	1,4511	0,1217
C.V. (%)		19,39	17,72	13,92	28,51	40,68	19,91	77,41	24,39
		RA							
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Cd
		----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	3,0301	4,2753	8,4367	1,0064	7822362,00	281,2525	115,7468	0,2644
Dose	4	2,2436	2,7413	3,9544	0,3746	3260034,00	43,9446	52,0394	0,1425
Resíduo	12	3,6683	4,9010	3,8756	0,5117	3608976,00	237,5094	65,7304	0,0822
C.V. (%)		36,27	54,95	39,52	39,64	45,93	32,87	27,59	33,49

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

Quadro 21A – Resumo da análise de variância para teores de nutrientes nas FS, FI e RA da alface Regina de Verão em função da concentração de Cd (mg dm^{-3}) em amostras do LV

FV	G.L.	FS							
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
		----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	2,1179	1,6942	1,9182	0,7952	7534,9630	1745,5650	-	70,5836
Dose	4	1,4160	6,7523	3,4670	1,2042	5226,3570	2193,4070	-	81,1126
Resíduo	12	0,5722	4,1608	1,4405	0,5508	7451,6250	2169,8640	-	29,5245
C.V. (%)		12,29	13,25	16,84	12,60	43,45	21,16	-	18,27
		FI							
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
		----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	1,0431	3,3951	13,5414	9,8442	304231,20	14437,8400	-	39,7195
Dose	4	0,1193	9,9115	13,3729	3,6191	531576,10	7695,3830	-	92,6838*
Resíduo	12	0,1985	43,5485	6,1540	4,5846	453731,20	18431,7800	-	12,9917
C.V. (%)		11,23	48,78	15,89	17,53	77,53	22,70	-	19,14
		RA							
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
		----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	1,3421	7,6247	0,1668	0,2123	915175,10	741,4524	12,5135	8,1210
Dose	4	0,4959	14,4856	0,8217	0,4502	535042,30	194,2073	100,4795*	99,6053
Resíduo	12	0,8745	6,9855	0,4313	0,1938	1382426,00	464,8966	11,6485	341,2980
C.V. (%)		14,82	26,43	10,95	12,46	25,74	38,04	15,97	26,52

64

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

Quadro 22A – Resumo da análise de variância para conteúdo de nutrientes nas FS, FI e RA da alface Regina de Verão em função da concentração de Cd (mg dm⁻³) em amostras do LV

FV	G.L.	FS							
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
		----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	94,2360	28,9773	106,9372	39,5897	650206,60	87537,60	-	1104,2600
Dose	4	267,9485	2041,6420*	253,7470	190,4170	673554,90	254990,10	-	3843,4950
Resíduo	12	70,5352	310,5334	86,2215	57,8112	574362,70	117019,00	-	3210,1180
C.V. (%)		21,58	18,29	20,98	20,64	59,53	24,87	-	30,84
		FI							
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
		----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	1,3407	10,8715	22,4835	6,6769	102432,80	15526,92	-	7,1372
Dose	4	2,1580	36,4083	11,2658	9,2388	504687,20	38801,43	-	26,1914
Resíduo	12	0,4850	39,2827	3,8903	4,8463	256178,50	16531,99	-	12,8835
C.V. (%)		19,96	51,99	14,78	20,98	67,89	24,77	-	22,87
		RA							
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
		----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	7,7757	3,1694	9,4422	1,3167	15282690,0	1503,1970	278,7155	1311,3040
Dose	4	19,0421	26,7889	16,3555	11,6755	5772776,0	3204,1520	41,1137	2787,6190
Resíduo	12	12,8908	44,8515	5,6554	4,9162	16037730,0	766,8069	267,4217	1476,4110
C.V. (%)		28,75	35,48	20,49	31,16	44,06	26,27	39,76	28,65

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

Quadro 23A – Resumo da análise de variância para teores de nutrientes e Cd nas FS, FI e RA da alface Regina de Verão em função da concentração de Zn (mg dm^{-3}) em amostras do LV

FV	G.L.	FS							
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Cd
		----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	1,0205	13,7315	1,3621	3,7247	4178,9350	7266,3970	-	0,0447
Dose	4	0,9504	8,2122	3,5695	0,7099	1326,4220	1228,1730	-	0,1246
Resíduo	12	0,5362	5,5778	1,6328	1,3816	764,1720	1093,6950	-	0,0514
C.V. (%)		13,60	14,12	21,77	27,41	15,66	17,07	-	47,48
		FI							
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Cd
		----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	0,5952	1,4391	6,6186	2,1503	113256,30	17591,4900	-	0,0395
Dose	4	0,4386	28,4548	9,5149	7,4198	326900,80	17275,8900	-	0,0209
Resíduo	12	0,4761	8,0208	3,0652	1,6779	187610,60	6608,3960	-	0,0158
C.V. (%)		17,94	16,09	16,33	17,19	46,05	19,95	-	23,15
		RA							
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Cd
		----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	1,6494	5,7982	0,2895	0,1074	722034,10	221,3180	16,3233	0,0246
Dose	4	0,9489	1,2008	0,0469	0,2950	3118494,00	371,4374	28,3272	0,0245
Resíduo	12	0,5031	1,7702	0,1806	0,3306	2393919,00	250,2730	17,2664	0,0238
C.V. (%)		12,88	15,04	8,12	15,21	31,45	25,50	19,58	26,88

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

Quadro 24A – Resumo da análise de variância para conteúdo de nutrientes e Cd nas FS, FI e RA da alface Regina de Verão em função da concentração de Zn (mg dm^{-3}) em amostras do LV

FV	G.L.	FS							
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Cd
		----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	85,6009	162,4359	197,9894	140,4686	109685,50	361244,20	-	8,8564
Dose	4	56,2222	443,6236	248,7302	53,4749	33099,23	66153,48	-	11,0648
Resíduo	12	42,4744	283,7108	105,8915	118,1662	53466,20	82372,60	-	3,9509
C.V. (%)		14,86	12,45	21,56	31,28	16,30	18,33	-	49,48
		FI							
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Cd
		----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	1,3593	49,9847	5,5725	0,9356	46129,16	1756,8900	-	0,0612
Dose	4	2,4110	10,5280	28,4375	23,2133*	71603,23	29784,3000	-	0,0150
Resíduo	12	1,7211	32,3208	10,6649	3,6355	37597,02	15577,4200	-	0,0466
C.V. (%)		36,02	34,60	32,55	26,89	24,84	33,00	-	42,53
		RA							
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Cd
		----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	4,2728	21,3776	9,2777	6,9514	33550350,0	1501,8000	180,0727	0,2776
Dose	4	10,7438	43,3787	21,5420*	13,5317	41823860,0	668,5700	670,2408*	0,5624
Resíduo	12	7,1354	22,6021	4,0211	4,4114	15664780,0	1480,1390	81,3549	0,1484
C.V. (%)		24,58	26,89	19,01	26,66	39,47	31,50	21,11	33,08

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

Quadro 25A – Resumo da análise de variância para teores e conteúdo de nutrientes na PA e RA da cenoura Brasília em função da concentração de Cd (mg dm^{-3}) em amostras do LV

FV	G.L.	TEORES							
		PA							
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
		----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	0,7162	88,1725	13,4296	0,1799	25647,95	21847,66	1,3352	345,2780
Dose	4	0,1399	44,4825	28,1468	0,2451	21441,79	29982,18	4,1593*	114,6656
Resíduo	12	1,5766	59,5310	7,5244	0,4489	25488,79	8045,74	0,7287	122,6583
C.V. (%)		21,72	11,66	14,27	12,09	79,18	30,38	24,87	48,54
		RA							
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
		----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	3,6161	117,1728	3,0704	0,0700	3951316,00	527,8145	-	7582,6260
Dose	4	1,9563	85,6301	3,2943	0,4049	8574630,00	939,2267	-	8023,1360
Resíduo	12	4,4686	56,0798	1,0384	0,2323	2516229,00	400,9324	-	4622,2300
C.V. (%)		48,67	26,58	49,30	30,48	76,82	49,15	-	94,46
		CONTEÚDO							
		PA							
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
		----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	1,4918	80,4986	29,0329	1,0911	1643,9100	16957,0200	1,4582	63,7328
Dose	4	5,2632	625,5099*	37,7193	3,2602	5500,9500	15425,9900	2,6935	27,7777*
Resíduo	12	2,0465	108,8544	19,8491	1,2520	4815,9560	6221,9440	0,7942	3,8197
C.V. (%)		37,46	24,28	35,19	31,05	60,76	40,55	39,33	14,72
		RA							
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
		----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	3,0217	33,6588	0,1599	0,2113	42064,0700	69,3149	-	0,7445
Dose	4	2,5404	57,2287	0,0463	0,1446	22653,3000	62,3632	-	10,3493
Resíduo	12	1,1695	34,5347	0,0857	0,1103	29902,9000	68,8338	-	7,5948
C.V. (%)		66,36	66,35	61,93	66,86	45,25	71,73	-	23,18

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

Quadro 26A – Resumo da análise de variância para teores e conteúdo de nutrientes na PA e RA da cenoura Nantes em função da concentração de Cd (mg dm^{-3}) em amostras do LV

FV	G.L.	TEORES							
		PA							
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
		----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	22,0106	549,9805	6,0773	0,3204	82498,4100	8062,7200	1,5439	170,4403
Dose	4	8,1667	288,1106	9,7088	0,2613	102548,3000	7301,1900	4,5052	49,3935
Resíduo	12	9,4046	277,8086	5,2620	0,3102	112646,1000	6959,9960	5,5928	80,0954
C.V. (%)		36,08	25,29	15,79	10,46	134,86	33,49	52,89	30,22
		RA							
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
		----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	43,6899	25,0810	1,3516	0,0952	19078740,00	1644,8600	-	21068,1100
Dose	4	0,5151	53,8989	6,5095	0,2755	17059400,00	1132,1540	-	7167,7500
Resíduo	12	9,0131	61,5956	1,9305	0,2397	13197220,00	915,5515	-	9573,1140
C.V. (%)		35,99	16,42	47,64	24,22	146,24	62,43	-	91,66
		CONTEÚDO							
		PA							
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
		----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	30,4844	516,9764	45,6363	5,1474	14946,0700	12128,4100	6,4025	87,6799
Dose	4	1,0133	306,1468	16,4603	0,9049	17386,3600	2008,4900	3,1433	154,4031
Resíduo	12	7,5826	237,9050	20,4982	2,4760	18515,2300	14740,6800	3,9956	42,9370
C.V. (%)		42,66	32,17	39,96	38,83	86,06	63,66	58,71	30,84
		RA							
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
		----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	2,3094	28,1737	0,0274	0,0451	10312,5500	78,4505	-	5,1512
Dose	4	0,4472	19,4052	0,1333	0,1374	11484,3000	63,4194	-	5,1136
Resíduo	12	0,7598	13,7076	0,0813	0,0290	7992,4430	48,1439	-	2,5816
C.V. (%)		58,71	48,67	69,19	54,40	40,39	89,72	-	14,98

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

Quadro 27A – Resumo da análise de variância para teores e conteúdo de nutrientes na PA e RA da cenoura Brasília em função da concentração de Zn (mg dm^{-3}) em amostras do LV

FV	G.L.	TEORES							
		PA							
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Cd
		----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	6,9703	249,0069	19,8389	1,3425	66834,4300	14337,5500	5,1843	1,3184
Dose	4	0,7570	14,9206	30,3031	0,3585	25450,2700	60744,0900	11,9069	1,1418
Resíduo	12	3,3319	69,5954	20,3542	0,3099	24432,3100	41498,5500	4,6833	1,0836
C.V. (%)		31,38	12,29	23,85	10,79	61,30	46,81	59,01	64,37
		RA							
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Cd
		----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	2,7259	222,7132	1,3729	4,9859	12850160,00	883,5162	-	411,3846
Dose	4	2,6931	82,9695	0,1948	2,4692	4116990,00	1546,277*	-	202,0432
Resíduo	12	3,8197	140,9028	0,7012	2,9699	5641022,00	242,509	-	199,0161
C.V. (%)		44,01	36,94	52,02	111,20	103,98	26,81	-	161,58
		CONTEÚDO							
		PA							
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Cd
		----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	3,7026	361,1700	76,6463	2,2429	7646,4040	72654,4100	0,6835	0,1869
Dose	4	7,6749	839,5533	106,7840	3,8957	33539,8400	77530,9700	6,9439	0,1211
Resíduo	12	3,3806	316,0549	40,8014	1,9761	13035,84	52537,1200	3,1134	0,0933
C.V. (%)		48,49	39,23	46,66	41,19	74,86	73,51	70,99	33,52
		RA							
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Cd
		----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	4,2732	98,0477	0,1536	0,1395	25729,1300	434,6174	-	0,3599
Dose	4	2,3026	30,9323	0,0737	0,1240	9210,5100	99,4165	-	0,1625
Resíduo	12	2,3249	45,8602	0,0889	0,0756	24873,3900	144,286	-	0,2472
C.V. (%)		99,57	72,71	63,91	72,33	47,27	68,15	-	68,47

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

Quadro 28A – Resumo da análise de variância para teores e conteúdo de nutrientes na PA e RA da cenoura Nantes em função da concentração de Zn (mg dm^{-3}) em amostras do LV

FV	G.L.	TEORES							
		PA							
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Cd
		----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	0,5991	37,5424	8,5056	0,0987	1581,9780	758,7720	9,0869	0,2111
Dose	4	0,7539	86,5480	4,0657	0,2499	12457,4400	19355,7400	5,9179	0,4284
Resíduo	12	1,4609	35,5758	8,7299	0,2108	3273,0300	18620,7600	2,9810	0,2197
C.V. (%)		18,53	9,46	18,92	9,24	39,16	32,38	45,94	35,37
		RA							
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Cd
		----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	0,9659	75,8604	1,8120	0,1393	1041992,00	2375,8110	-	21,5122
Dose	4	4,7617	156,5229	3,9136	0,3412	3521784,00	992,2996	-	23,9292
Resíduo	12	8,5146	65,3439	2,0910	0,1542	2275844,00	1892,0670	-	26,7879
C.V. (%)		49,31	16,55	52,28	30,28	89,00	80,33	-	103,72
		CONTEÚDO							
		PA							
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Cd
		----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	3,7086	203,9460	36,7237	2,1811	285,4066	9817,2700	6,4131	0,1285
Dose	4	12,5305	1614,5310	101,5245	6,2420	4178,2150	41626,6200	11,2602	0,3767
Resíduo	12	13,5856	1007,7360	86,2641	5,4778	2559,8270	25394,9700	8,5425	0,3245
C.V. (%)		61,00	54,76	62,45	52,06	43,10	44,38	88,45	50,49
		RA							
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Cd
		----- (Quadrados Médios) -----							
Bloco	3	0,8666	6,4313	0,0473	0,0033	17838,5600	17,5152	-	0,2089
Dose	4	4,6459	80,8737	0,1195	0,0693	22558,9400	236,5305	-	0,2087
Resíduo	12	4,7846	86,0405	0,1841	0,0846	48151,3200	113,7363	-	0,2728
C.V. (%)		137,61	91,42	79,70	99,69	93,56	95,65	-	85,09

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