

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**APLICAÇÃO DE QUELATOS DE ZINCO EM UM SOLO
DEFICIENTE CULTIVADO COM MILHO EM CASA DE
VEGETAÇÃO**

Roberto Savério Souza Costa

Orientador: Prof. Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho

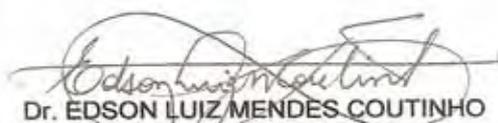
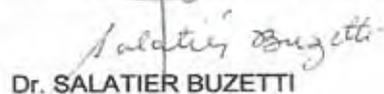
Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

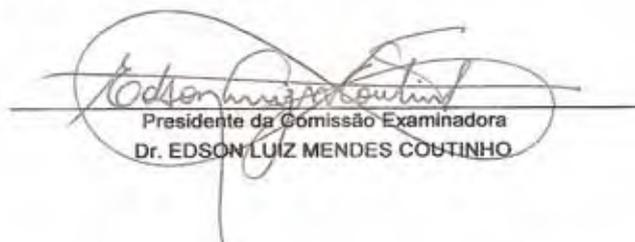
Janeiro de 2008

unesp**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**
CÂMPUS DE JABOTICABAL
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO****TÍTULO:** APLICAÇÃO DE QUELATOS DE ZINCO EM UM SOLO DEFICIENTE CULTIVADO COM MILHO EM CASA DE VEGETAÇÃO**AUTOR:** ROBERTO SAVÉRIO SOUZA COSTA**ORIENTADOR:** Dr. EDSON LUIZ MENDES COUTINHO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL) pela Comissão Examinadora:


Dr. EDSON LUIZ MENDES COUTINHO
Dr. SALATIER BUZETTI
Dra. MARA CRISTINA PESSÔA DA CRUZ

Data da realização: 09 de janeiro de 2008.


Presidente da Comissão Examinadora
Dr. EDSON LUIZ MENDES COUTINHO

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Roberto Savério Souza Costa, nascido em 24 de junho de 1982, em Caconde-SP, é engenheiro agrônomo formado em julho de 2005 pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, campus Ilha Solteira. Trabalha com fertilidade do solo, adubação de plantas e manejo de tratos culturais desde 2002, sendo bolsista FAPESP de 2003 a 2005. Em agosto de 2005, iniciou o curso de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal, nível mestrado, na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP - Campus de Jaboticabal, vindo a concluí-lo em janeiro de 2008, sendo bolsista CAPES.

“Vocês devem ensinar as suas crianças que o solo a seus pés é a cinza de nossos avós. Para que respeitem a terra, digam a seus filhos que foi enriquecida com as vidas de nosso povo. Ensinem às suas crianças o que ensinamos às nossas, que a terra é nossa mãe. Tudo que acontecer a terra acontecerá aos filhos da terra.”

Chefe indígena Duwamish (Chefe Seattle)

*Aos meus pais, **Francisco Renato Tortorelli Costa e Maria de Fátima Souza Costa** pelo amor, incentivo, paciência, ensinamentos de vida e principalmente ao exemplo de família; aos meus irmãos **Renato Savério Souza Costa e Ana Sílvia Souza Costa**; aos meus avós paternos, **Rosa de Gracia Tortorelli e José Costa Filho** e maternos, **Antônio Goulart de Souza e Maria Aparecida Gomes de Souza** que foram incondicionais no amor, carinho e no estímulo para a superação e cumprimento de mais essa etapa da minha vida.*

Dedico

*A minha namorada **Djanifer da Silva Paiva** pelos ensinamentos, abraços, sorrisos, alegria e pela paciência comigo que foram fundamentais para que eu não desanimasse e corresse em busca de novos sonhos!*

Ofereço

AGRADECIMENTOS

A **DEUS**, por estar sempre presente, dando-me fé, força e que acima de tudo nos dá saúde e a oportunidade concedida da vida;

A FCAV-UNESP, especialmente ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, pela oportunidade de realização da pesquisa;

A CAPES pela concessão da bolsa de estudo;

Ao Prof. Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho pela orientação, ensinamentos, amizade e paciência, sendo decisivo na elaboração e conclusão desse trabalho;

Aos professores Renato de Mello Prado, Mara Cristina Pessôa da Cruz e Salatiér Buzetti componentes das bancas examinadoras, pelas preciosas considerações apresentadas;

Ao professor José Carlos Barbosa pelos ensinamentos de estatística;

Aos funcionários do Departamento de Solos e Adubos, inestimável auxílio nos experimentos e determinações analíticas;

Às minhas amigas da Rep. Farfaruei e aos meus companheiros de república, Elízio Ferreira Frade Junior, Ernesto Rinaldi Mouta e Valdeci Orioli Junior, pela valiosa amizade, companheirismo e convivência agradável;

A todos os amigos dos programas de Pós-Graduação e Graduação da FCAV.

A todos meus familiares e amigos que mesmo longe foram incansáveis no apoio, estímulo e confiança depositada;

Enfim, a todos que de maneira direta ou indireta contribuíram para o cumprimento de mais essa etapa de minha vida.

MUITO OBRIGADO!

SUMÁRIO

	Páginas
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABELAS	X
RESUMO	XI
SUMMARY	XII
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 ZN NO SOLO	3
2.2 FONTES E DOSES DE ZN.....	7
2.3 ZN NA PLANTA	9
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	13
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
5 CONCLUSÕES	24
6 REFERÊNCIAS	25

LISTA DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1. Zinco no solo, extraído com a solução de DTPA, após a aplicação de doses de zinco nas formas de sulfato, lignosulfonato (Zn-LS) e EDTA.....	17
Figura 2. Concentração de zinco na parte aérea de plantas de milho adubado com doses de sulfato de zinco, Zn-lignosulfonato e Zn EDTA.....	18
Figura 3. Zinco acumulado na parte aérea de plantas de milho adubado com doses de sulfato de zinco, Zn-lignosulfonato e Zn-EDTA.....	19
Figura 4. Matéria seca de parte aérea de plantas de milho adubado com doses de sulfato de zinco, Zn-lignosulfonato e Zn-EDTA.....	20
Figura 5. Crescimento da cultura do milho em função das doses de Zn.....	21
Figura 6. Nível crítico de Zn na parte aérea das plantas de milho.....	23
Figura 7. Nível crítico de Zn no solo.....	23

LISTA DE TABELAS

	Páginas
Tabela 1. Concentrações de Zn no solo, Zn na planta, Zn acumulado e produção de matéria seca do milho em função da aplicação de fontes de doses de Zn...	15
Tabela 2. Desdobramento da interação das doses e fontes de Zn para teor de Zn no solo.....	16

APLICAÇÃO DE QUELATOS DE ZINCO EM UM SOLO DEFICIENTE CULTIVADO COM MILHO EM CASA DE VEGETAÇÃO

RESUMO - O zinco é um micronutriente considerado limitante à produção do milho no Brasil, sendo a sua deficiência muito comum em todas as regiões do país. Com o objetivo de avaliar os efeitos de doses e fontes de Zn nas concentrações do micronutriente no solo, na planta e na produção de matéria seca da parte aérea do milho, foi conduzido um experimento em casa de vegetação, empregando-se amostra de um Latossolo Vermelho textura média. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com três repetições, segundo um arranjo fatorial 6 x 3 (seis doses de Zn e três fontes). Foram empregadas as seguintes doses de Zn: 0; 0,5; 1; 2; 4 e 6 mg kg⁻¹, utilizando-se as fontes: Zn-EDTA, Zn-lignosulfonato (Zn-LS) e sulfato de zinco. Verificou-se que a aplicação de Zn, independentemente da fonte considerada, aumentou significativamente a produção de matéria seca da parte aérea de milho e as concentrações do micronutriente no solo e na planta. A fonte Zn-LS proporcionou concentrações de Zn no solo e na planta significativamente superiores, particularmente em relação à fonte inorgânica. As fontes de Zn apresentaram um comportamento semelhante em termos de produção de matéria seca. Os níveis críticos de Zn no solo e na parte aérea da planta foram respectivamente, 0,9 e 16 mg kg⁻¹.

Palavras chave: Fontes de Zn, micronutriente, nível crítico, *Zea mays*, Zn-lignosulfonato, Zn-EDTA.

Zn CHELATE APPLICATION ON Zn DEFICIENT SOIL CULTIVATED WITH MAIZE UNDER GREENHOUSE

SUMMARY – The zinc is a micronutrient that limits the production of the maize in Brazil, being its very common deficiency in all the regions of the country. With the objective of evaluating the effect of the zinc rates in micronutrients concentration in soil, in plants and maize shoot dry matter production, an experiment in pots containing Haplustox (Latossolo Vermelho). It was used a complete randomized design, with three replications of treatments, in a factorial arrangement 6 x 3 (six rates of zinc and three sources). It was used following rates of zinc: 0; 0.5; 1; 2; 4 e 6 mg kg⁻¹, and sources: Zn-EDTA, Zn-lignosulfonate (Zn-LS) and zinc sulfate. It was observed zinc application, own the sources, increased corn shoot dry matter and the micronutrient concentration in soil and plant. The source Zn-LS provided more Zn concentration in soil and plant than inorganic source. The zinc sources showed the same performance in dry matter production. The Zn level critic in soil and plant were respectively 0.9 mg kg⁻¹ and 16 mg kg⁻¹.

Keywords: Zn sources, micronutrients, critical level, Zn-lignosulfonate, *Zea mays*, Zn-EDTA.

1 INTRODUÇÃO

O zinco é um micronutriente considerado limitante à produção do milho no Brasil, sendo a sua deficiência muito comum em todas as regiões do país. Essa carência tem sido verificada principalmente em solos menos férteis, recentemente introduzidos ao sistema produtivo e em áreas que receberam calcário incorporado na camada de 0-10 cm de profundidade, cujas quantidades eram recomendadas para corrigir os 20 cm superficiais do solo.

Outro fator indutor da carência deste micronutriente é a aplicação superficial do calcário em condições de plantio direto. Com a aplicação do corretivo na superfície do solo o corretivo não é incorporado ao solo, e como consequência, a correção da acidez se dá apenas na camada superficial. Como a disponibilidade do Zn no solo é muito dependente do pH, pode ocorrer deficiência destes micronutrientes nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura devido ao pH elevado do solo. (RITCHEY et al., 1986; LINS & COX, 1988; CONSOLINI & COUTINHO, 2004). Nesta situação, o fornecimento desse micronutriente tem sido realizado com a aplicação no solo de fontes inorgânicas de zinco incorporadas em fertilizantes NPK. Tem-se verificado, entretanto, em condições de campo, que as quantidades do micronutriente comercialmente ofertadas nessas formulações, não tem sido suficientes para atender as necessidades da cultura, devido a insolubilização do Zn no solo nestas condições de alto pH (SHUMAN, 1991). Em função dessa diminuição da disponibilidade de Zn, vislumbra-se a possibilidade de aplicação no solo de quelatos ou complexos, os quais são descritos na literatura como produtos que podem ser mais eficientes que as fontes inorgânicas em condições de alto pH do solo (HOLDEN & BROWN, 1965).

MORTVEDT (2001) afirmou que a eficiência dos quelatos aplicados ao solo pode ser de duas a cinco vezes maior por unidade de micronutriente do que as fontes inorgânicas. Segundo o autor, essa maior eficiência ocorre porque os agentes quelatantes controlam as reações do íon metálico pelo bloqueio dos sítios de reação destes íons, o que impede a sua entrada em reações químicas das quais participariam

normalmente. Desta forma, o Zn na forma de quelatos não sofreria as reações de insolubilização no solo, proporcionando, em tese, uma correção mais eficiente, com doses menores.

Existe uma carência de trabalhos de pesquisa no Brasil avaliando a eficiência de quelatos ou complexos, principalmente quando aplicados no solo.

O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito das doses e fontes de Zn nas concentrações do micronutriente no solo, na planta e na produção de matéria seca da parte aérea do milho. Procurou-se ainda, determinar o nível crítico de Zn no solo e na parte aérea da planta.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Zinco no solo

De acordo com ABREU (2001), a quantidade total de Zn no solo representa a capacidade potencial do solo em fornecê-lo à planta e é em função principalmente do material de origem e dos processos que atuaram na sua formação. Nas regiões temperadas, onde a maioria dos solos é relativamente jovem, o material de origem é predominantemente o fator que afeta a quantidade total do elemento no solo. Onde os processos de intemperização são mais intensos, como nas regiões tropicais, essa relação pode ser modificada por mobilização e redistribuição do elemento. Dessa forma a deficiência de zinco nas plantas pode estar associado à sua ocorrência no material de origem, sendo mais provável ocorrer deficiência em solos derivados de material calcário, tanto de origem grosseira quanto fina, com teores naturalmente baixos de zinco no material de origem. (JARVIS, 1981 citado por ABREU, 2001).

Segundo BÜLL (1993) o zinco é o micronutriente mais limitante à produtividade de milho no Brasil, sendo que os relatos de deficiência desse elemento para o milho, provêm, principalmente, de solo Argiloso Vermelho Amarelo ou Latossolos altamente intemperizados e ácidos da região dos cerrados. Nestes solos de cerrado vários autores mencionam cultura anuais deficientes em Zn (GALRÃO, 1994) sendo que sua deficiência no solo de cerrado ocorre devido ao baixo teor natural do solo, o qual é insuficiente para suprir a necessidade da planta.

Em relação às formas de zinco no solo, o zinco é o elemento cuja forma mais comum em solução é a do cátion Zn^{+2} e conforme relatado por LOPES (1999), movimenta-se por difusão no solo, ou seja, dos pontos de maior concentração para os pontos de menor concentração, sendo que a maior disponibilidade ocorre na faixa de pH de solo entre 5,0 e 6,5. Há relatos de que quando o pH é elevado para valores acima de 6,0, foram observados sintomas de deficiência de zinco nas plantas. BÜLL (1993) relatou que ao elevar o pH do solo, a solubilidade do zinco diminuiu e os

sintomas de deficiência aumentaram devido à precipitação do zinco na forma de hidróxido de zinco insolúvel principalmente, em plantas cultivadas em solos pobres. Semelhante a esta observação, BARBOSA FILHO (1991) cita que a deficiência de zinco geralmente está associada à solos calcários e alcalinos, porquanto a solubilidade do micronutriente é muito baixa em solos de pH alto.

De acordo com OHSE et al. (1999) a deficiência de zinco tem ocorrido em uma ampla variedade de solos, agravando-se com o cultivo intensivo ao longo do tempo, em países como Austrália, Brasil, China, Colômbia, Estados Unidos da América, Índia, Peru e vários do Continente Asiático. No Brasil, a deficiência de zinco é a mais comum entre os micronutrientes, principalmente em solos sob cerrado e solos arenosos. É descrito pelos autores que a carência deste micronutriente acarreta sérios distúrbios ao metabolismo vegetal, os quais se refletem na redução do rendimento de culturas temporárias e perenes.

Ainda em relação à deficiência do zinco nos solos, LOPES (1999) cita que o zinco pode ser fortemente adsorvido pelos colóides do solo, o que ajuda a diminuir as perdas por lixiviação, porém pode dificultar a absorção pelas plantas em alguns casos e também provocar deficiências. SHUMAN (1975) coloca que tal adsorção pode ser influenciada por várias propriedades e características do solo como pH, CTC, teor de matéria orgânica, teor de cátions e ânions solúveis, tipo de argila e teor de argila, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio.

SHUMAN (1975), avaliando a adsorção de zinco em quatro solos representativos da região da Georgia (EUA), submetidos a oito concentrações de solução de sulfato de zinco (2 a 128 mg L⁻¹), verificou uma adsorção do íon variando de 23 a 76% da capacidade de troca catiônica (CTC) desses solos, sendo a maior adsorção observada nos solos argilosos com altos teores de matéria orgânica.

Com relação ao pH, BAR-YOSEF (1979), estudando a relação do pH e adsorção de Zn nos solos observou um crescente aumento da adsorção do Zn em pH>7,0, principalmente quando verificada altas concentrações do zinco na solução, independentemente do tipo de solo analisado. Mas para um mesmo valor de pH foi verificado que a adsorção comporta-se diferentemente em função do tipo de solo,

sendo que nos solos com maior teor de argila a adsorção foi mais elevada. Ainda segundo o autor, o aumento do pH nos solos proporciona menores valores de Zn na solução de forma linear até pH 6,0 sendo que acima deste valor as quantidades de Zn diminuem acentuadamente. De acordo com BAR-YOSEF et al. (1980), esse decréscimo na concentração de zinco, na solução do solo é devido ao aumento da adsorção de zinco pelos constituintes da fase sólida.

LINDSAY (1991) descrevem que em valor de pH igual a 5, a concentração de Zn^{+2} na solução é aproximadamente $6,5 \text{ mg L}^{-1}$ e em pH 8,0 a concentração é $0,007 \text{ mg L}^{-1}$. Segundo o autor, a solubilidade do zinco é altamente dependente do pH, sendo que a deficiência de Zn pode ser induzida por excesso de calagem em solos ácidos. Em pH mais baixos, concentrações de zinco na forma Zn^{+2} pode estar presente no complexo trocável do solo, mas em valores elevados de pH, o nível de Zn^{+2} na solução é tão baixo que pouca quantidade de Zn^{+2} fica retido no complexo trocável.

Sendo assim, muitos autores descrevem que a elevação do pH do solo pode causar uma alteração na disponibilidade do Zn. Portanto poderá haver uma insolubilização do zinco, diminuindo a sua disponibilidade, provavelmente devido a formação de óxidos e hidróxidos menos solúveis. Neste sentido existem alguns trabalhos, embora nem sempre tenha sido observado, que uma diminuição na absorção de zinco esteja associada a uma redução na produção de milho. No trabalho de GALRÃO & MESQUITA FILHO (1981) foi observado que a aplicação de calcário na dose equivalente a $2,6 \text{ t ha}^{-1}$ diminuiu a absorção do Zn comparado à aplicação de 1 t ha^{-1} , nos três anos de cultivo em casa de vegetação. Embora os autores tenham verificado essa redução na absorção, não houve redução na matéria seca. Ao contrário, houve um incremento na matéria seca, sendo associado provavelmente à um acréscimo na disponibilidade de nutrientes para o milho.

Para o uso adequado do nutriente na adubação torna-se necessário a determinação do nível crítico de zinco no solo. Dessa forma LINDSAY & NORVELL (1978) estudaram o desenvolvimento do extrator DTPA para zinco, ferro, manganês e cobre em 42 solos do Colorado, com a cultura do milho. Os autores verificaram que o teor de $0,8 \text{ mg Zn kg}^{-1}$ de solo separou os 10 solos com a quantidade adequada de

zinco disponível dos outros 32 solos, os quais foram responsivos à fertilização com Zn. Desta forma os autores adotaram o valor de $0,8 \text{ mg Zn kg}^{-1}$ de solo como nível crítico para a cultura de milho com o extrator DTPA. Semelhante a este valor, os autores RITCHEY et al. (1986) relataram que para o milho Cargill 111, o nível crítico de Zn num Latossolo Vermelho-Escuro textura argilosa foi de $0,7 \text{ mg kg}^{-1}$ para o extrator DTPA. Já COUTINHO et al. (1992), trabalhando com milho pipoca em casa de vegetação observaram que o nível crítico de zinco no solo foi $0,6 \text{ mg kg}^{-1}$ (DTPA).

BUZETTI et al. (1991), avaliando a aplicação de doses de Zn em diferentes condições de acidez em solo de cerrado, verificaram que com a utilização de 2 t ha^{-1} de calcário o nível crítico de Zn no solo foi de $0,32 \text{ mg dm}^{-3}$. Já com a aplicação da dose mais elevada de calcário ($3,2 \text{ t ha}^{-1}$) o nível crítico foi de $0,27 \text{ mg dm}^{-3}$. Com relação à produção de grãos, os níveis críticos foram de $0,30$ e $0,37 \text{ mg dm}^{-3}$ de Zn, para as doses 1 e 2 do corretivo, respectivamente. Ainda segundo os autores, as divergências dos valores encontrados, no nível crítico de Zn, na literatura deve-se, provavelmente, ao tipo de metodologia utilizada para o cálculo do nível crítico, às condições edafo-climáticas, e ao tipo de planta-teste usada.

FAGERIA (2000), estudando níveis adequados e tóxicos de Zn em solos de cerrado verificou que a produção máxima de matéria seca do milho foi obtida com a aplicação de 20 mg kg^{-1} de solo e o aumento foi de 14% em comparação com a testemunha. O nível adequado de Zn, tanto no solo como na planta, foi determinado com base em 90% de produção relativa e os níveis tóxicos baseados em 10% de redução da produção relativa. A aplicação de 3 mg kg^{-1} de solo propiciou 90% da produção máxima de milho e a aplicação de 110 mg kg^{-1} de solo foi tóxica para a cultura.

Algumas pesquisas objetivando avaliar a eficiência da solução extratora compararam o zinco absorvido pelas plantas com o extraído pelo extrator. Assim BATAGLIA & RAIJ (1989) concluíram que, apesar das quatro soluções testadas (DTPA, HCl $0,1 \text{ mol L}^{-1}$, Mehlich-1 e EDTA) avaliarem bem a disponibilidade de zinco, apenas o DTPA discriminou o efeito da calagem nos teores do micronutriente.

Entretanto, os extratores DTPA, HCl 0,1 mol L⁻¹ e HCl 0,5 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,025 mol L⁻¹ testados por BUZETTI (1992), em nove solos brasileiros, apresentaram a mesma eficiência na extração de zinco do solo. BATAGLIA & RAIJ (1994) testaram 26 solos com a solução extratora DTPA, HCl 0,1 mol L⁻¹, Mehlich-1 e EDTA, sendo que, o DTPA apresentou coeficiente de correlação linear superior aos demais.

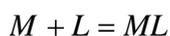
2.2 Fontes e doses de Zn

BARBOSA FILHO (1991) cita que as fontes de micronutrientes contendo zinco podem ser classificadas em inorgânicas e orgânicas (nas quais estão os diversos quelatos). De acordo com o autor a escolha de uma ou de outra fonte depende do modo de aplicação, da disponibilidade da mesma e, sobretudo da concentração do elemento e da solubilidade do produto. As fontes inorgânicas (sais, ácidos e óxidos) são geralmente as mais usadas, por serem mais baratas e facilmente encontradas no mercado. Já os quelatos são fontes mais eficientes, porque a “quelação” aprisiona o micronutriente, livrando-o de reações indesejáveis no solo, mas devido ao seu custo elevado são pouco utilizados.

Segundo LOPES (1999) os quelatos são geralmente bastante solúveis, mas, diferentemente dos sais simples, dissociam-se muito pouco em solução, isto é, o ligante tende a permanecer ligado ao metal. Essa é a principal vantagem dos quelatos, pois permite que Zn permaneça em solução em condições que normalmente se insolubilizariam como em soluções concentradas com reação neutra ou alcalina (pH 7,0 ou maior) e em solos calcários (VOLKWEISS, 1991). Os principais agentes quelatizantes utilizados na fabricação de fontes de micronutrientes são: ácido etilenodiaminotetraacético (EDTA), ácido N(hidroxi)etilenodiaminotetraacético (HEDTA), ácido dietilenotriaminopentaacético (DTPA), ácido etilenodiamino (o-hidroxifenil acético) (EDDHA), ácido nitrilo acético (NTA), ácido glucoheptônico e ácido cítrico. Outra fonte de quelato, segundo MORTVEDT (1991), são os complexos orgânicos naturais. Atualmente estes são produzidos com polpa das indústrias de celulose e

alguns dos grupos desses componentes são: lignosulfonato, fenóis e poliflavonóides. A fonte de micronutrientes preferida para utilização são os sulfatos porque possuem alta solubilidade, embora os óxidos possam ser utilizados também na fabricação de quelatos. Nestes micronutrientes complexados a constante de estabilidade dos metais não é avaliada, principalmente porque a maioria dos produtos é particularmente variável na composição do nutriente complexado.

Em relação aos quelatos, MORTVEDT (1991) destaca a importância da estabilidade da ligação quelato-metal, a qual é indicada pela constante de estabilidade do micronutriente quelatado. Valores de constantes de estabilidade são avaliadas (\log_{10}) no sentido da equação de reação abaixo:



M é o cátion metal e L é o ligante quelato. Quanto maior o valor de $\log K$ indica que maior a quantidade de metal que está quelatizado em equilíbrio, portanto o metal quelatizado poderia ser mais estável na reação química. Ainda segundo o autor, a constante de estabilidade pode ser usada para prever a estabilidade dos quelatos quando misturado com fertilizantes fluidos. Muitas vezes a conversão de um micronutriente de uma determinada fonte de fertilizante em uma forma diferente (quelato) pode necessariamente não significar alteração na efetividade agrônômica do fertilizante.

Com relação à comercialização do quelatos, MORTVEDT (1991) cita que a maioria dos micronutrientes quelatizados são vendidos na forma líquida, pois o custo de produção por unidade de micronutriente é menor em relação à forma em pó. Quelatos líquidos são vendidos principalmente para mistura com fertilizantes fluidos.

Quanto a eficiência das fontes os autores (OBRADOR et al., 2003; BOAWN, 1973) observaram que o zinco quelatizado foi mais eficiente que o sulfato de zinco na produção de milho. Entretanto, SLATON et al. (2005) não verificaram diferença entre as fonte orgânica (Zn-lignosulfonato) e inorgânica ($ZnSO_4$) em condições de campo.

LINGLE & HOLMBERG (1957) observaram que a eficiência das fontes de Zn para o milho dependia da dose do micronutriente utilizada. Assim, na presença de uma dose alta de Zn a fonte Zn-EDTA, era superior ao sulfato de zinco, ao passo que

quando era empregada uma dose baixa do micronutriente, praticamente não havia diferença entre as fontes estudadas

Em relação às doses de zinco, GALRÃO & MESQUITA FILHO (1981) verificaram para a cultura do milho que o teor de zinco no solo aumentou em função do aumento das doses aplicadas (0;1,25; 2,5; 5,0 e 10,0 mg kg⁻¹). Já BUZETTI et al. (1991) verificaram que a máxima produção de matéria seca foi obtida com a aplicação de 2,0 e 2,2 mg kg⁻¹ de Zn, para solos com valores de pH de 5,7 e 6,1.

GALRÃO (1995), utilizando quatro doses de zinco (0, 1, 3 e 9 kg ha⁻¹) na cultura do milho durante 3 anos consecutivos, observou que a menor dose, ou seja, a dose de 1 kg ha⁻¹, aplicada no primeiro cultivo foi suficiente para aumentar o rendimento de grãos, os teores de zinco do solo e da folha do milho no quarto cultivo, evidenciando o prolongado efeito residual da adubação com zinco. Semelhante a essa quantidade GALRÃO (1996), estudando os métodos de aplicação de zinco, observou que a dose de 1,2 kg ha⁻¹, aplicada à lanço, foi suficiente para propiciar rendimentos máximos de grãos em 3 cultivos. Ainda segundo o autor, quando aplicada no sulco de semeadura, a dose que proporcionou maiores rendimentos foi 0,4 kg ha⁻¹ de zinco.

2.2.1 Zinco na planta

OBRADOR et al. (2003) estudando a mobilidade a disponibilidade de Zn para as plantas verificaram que a aplicação de Zn nas quantidades de 10 e 20 mg kg⁻¹ de Zn-EDTA proporcionou uma concentração de Zn na planta de 59,6 e 93,6 mg kg⁻¹. Na testemunha os autores verificaram que a concentração de Zn na planta foi de 8,7 mg kg⁻¹. Já DECARO et al (1983), estudando o efeito de doses e fontes de zinco na cultura do milho, verificaram que a aplicação de zinco na fonte sulfato e óxido (0, 5, 10 e 15 kg ha⁻¹) proporcionaram aumentos no teor foliar de zinco, sendo que a dose de 5 kg ha⁻¹, foi suficiente para promover um teor adequado de zinco (acima de 20 mg kg⁻¹). No tratamento testemunha o teor médio de Zn foi de 14 mg kg⁻¹, sendo observado uma significativa redução na produção. Dessa forma, os autores definiram que os resultados

econômicos da aplicação de sulfato de zinco situaram-se na faixa de 5-10 kg ha⁻¹ de Zn.

Para definir o nível crítico de Zn para a cultura do milho, PUMPHREY et al. (1963) citam que se relaciona a concentração de zinco na planta com a produção relativa de 90%. Dessa forma, no experimento com a cultura do milho conduzido em Nebraska (EUA), os autores verificaram que o nível crítico de zinco foi de 15 mg kg⁻¹, sendo que acima desta quantidade a produção relativa foi superior a 90%. Assim, foi descrito pelos autores que concentrações de Zn na planta inferiores a 15 mg kg⁻¹ podem resultar em sintomas de deficiência de Zn nas plantas.

Portanto, em relação aos teores de zinco nas folhas de milho, FURLANI & FURLANI (1996) descrevem que o nível crítico para a cultura do milho é de 17 mg kg⁻¹ de Zn na matéria seca das folhas maduras. Já MALAVOLTA et al. (1997) coloca que o ideal é que as folhas das plantas de milho apresentem entre 15 e 50 mg kg⁻¹, por ocasião do florescimento enquanto que BUZETTI et al. (1991) cita que teores encontram-se na faixa de 20 a 50 mg kg⁻¹, sendo mais freqüente que sintomas de deficiência ocorram quando as plantas apresentam teores menores do que 20 mg kg⁻¹. Embora os autores acima (MALAVOLTA et al., 1997) considerem que teores de Zn na folha abaixo de 15 mg kg⁻¹ seja uma quantidade deficiente para a planta, GALRÃO (1995) verificou experimentalmente na cultura do milho, que as parcelas que apresentaram teores de Zn inferior à faixa de suficiência (entre 15 mg kg⁻¹ e 50 mg kg⁻¹) não diferiram entre si na produção de grãos. Semelhante a essa observação, ROSOLEM & FRANCO (2000), ao estudarem a relação entre a translocação de zinco e o crescimento radicular das plantas de milho, verificaram que teores foliares nas plantas considerados deficientes, ou seja, abaixo de 20 mg kg⁻¹, não resultaram na diminuição da produção de matéria seca e no crescimento das raízes. Por outro lado, FURLANI & FURLANI (1996), estudando a resposta das cultivares de milho a zinco em solução nutritiva, observaram que nas plantas com baixo teor de zinco (11 a 12 mg kg⁻¹) houve redução na produção de massa seca e na altura dos cultivares testados. Dessa forma pode-se inferir que há divergência entre os valores citados na literatura e de acordo

com BUZETTI et al. (1991), o teor de Zn nas plantas varia bastante, dependendo das espécies e de fatores do solo.

FURLANI & FURLANI (1996) descrevem que os sintomas de deficiência de zinco em plantas de milho aparecem nas folhas mais novas, que se tornam pequenas e formam roseta, devido ao encurtamento dos internódios. Perdem a coloração verde e podem-se tornar tortas ou necróticas.

LOPES (1999) cita que a deficiência de zinco pode ocorrer em alguns solos quando recebem doses de corretivos para elevar o pH acima de 6,0, principalmente se forem arenosos e também quando se usam altas doses de fertilizantes fosfatados. De acordo com o autor várias espécies de plantas já mostraram os efeitos da interação zinco-fósforo. A interação complica-se ainda mais pelo efeito de valores de pH próximos a neutralidade.

Em relação ao excesso de zinco na planta, STOYANOVA & DONCHEVA (2002) mencionam que quando o zinco é acumulado em excesso nas plantas causa alterações no crescimento da planta devido aos processos de fotossíntese e biossíntese de clorofila e integridade da membrana. Os sintomas de toxidez podem ser descritos como clorose nas folhas e diminuição da área foliar (OHKI, 1984).

Quanto a absorção de Zn pelas plantas, GOOS et al. (2000), comparando a disponibilidade de zinco a partir de três fontes (orgânica e inorgânicas) para o milho em casa de vegetação, verificaram que a absorção de zinco foi semelhante para as fontes $ZnSO_4$ e Zn-Lignosulfonato. Por outro, OBRADOR et al. (2003) estudando dois tipos de quelato de zinco (Zn-aminoácido e Zn-EDTA) verificaram que mesmo utilizando-se as mesmas doses e a mesma forma física, a absorção de zinco pelo milho foi maior com o quelato EDTA. Com a aplicação de $10 \text{ mg de Zn kg}^{-1}$, a absorção do Zn-aminoácido foi de $0,321 \text{ mg/vaso}$, enquanto que para a fonte Zn-EDTA foi de $3,984 \text{ mg/vaso}$. Os autores atribuíram essa diferença devido a hipótese no qual o comportamento da quelatização com aminoácidos era muito frágil para proteger o Zn^{+2} , estando retido no óxido de Fe amorfo e cristalino. Esta mesma superioridade da fonte Zn-EDTA foi verificada por HERGERT et al. (1984), porém comparando-se esta fonte ao $ZnSO_4$ em solos calcários com pH acima de 7,0. Em solos com pH inferior (pH 6,4), os autores

verificaram que o quelato foi menos eficiente em relação à quantidade de zinco acumulada/absorvida pelas plantas de milho. Segundo os autores, isto ocorreu devido à alta mobilidade do Zn-EDTA e conseqüentemente houve perda por lixiviação, principalmente quando aplicado altas doses.

Em condições de pH menos elevado (pH próximo a 5,5) os autores citados anteriormente (HERGERT et al., 1984) verificaram que não houve diferença estatística na quantidade de zinco acumulado/absorvido, entre as fontes orgânica (Zn-EDTA) e inorgânica (ZnSO₄).

COUTINHO et al. (1992), estudando a resposta do milho pipoca à adubação com zinco em casa de vegetação, verificaram um aumento na quantidade de zinco absorvido com a aplicação de doses. Com a maior dose (6 mg kg⁻¹) foi verificada uma absorção de 1100 µg/vaso, e concentração no solo de 3,08 mg kg⁻¹.

Apesar dos inúmeros trabalhos com micronutrientes no Brasil, muitas dúvidas ainda surgem a respeito de efeito das fontes de nutrientes aplicadas, bem como das doses ideais, do modo e do local mais adequado de aplicação. Assim muitos prejuízos têm ocorrido devido à utilização incorreta de determinados nutrientes na cultura do milho, principalmente devido à utilização de doses inadequadas, o que pode resultar em danos provocados tanto por toxidez como por deficiência.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Foi utilizada uma amostra de um Latossolo Vermelho distrófico textura média coletada da camada superficial do terreno (0 - 15 cm), no município de Jaboticabal - SP. A amostra depois de secar ao ar, foi passada em peneira com abertura de malha de 6 mm e posteriormente armazenada.

A análise química para fins de fertilidade do solo foi realizada segundo RAIJ et al. (1987), sendo os valores encontrados: pH (CaCl₂) 5,7; M.O.= 17 g dm⁻³; P = 5 mg dm⁻³; K = 0,5 mmol_c dm⁻³; Ca = 60 mmol_c dm⁻³; Mg = 11 mmol_c dm⁻³; H+Al = 22 mmol_c dm⁻³; CTC = 94 mmol_c dm⁻³; V = 76%. O teor de Zn extraído pela solução de DTPA (LINDSAY & NORVELL, 1978) era 0,3 mg kg⁻¹

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Unesp - Campus de Jaboticabal (SP), utilizando-se vasos com 2 kg de solo. O delineamento experimental empregado foi inteiramente casualizado, com três repetições, segundo um arranjo fatorial 6 x 3 (seis doses e três fontes de Zn), Foram empregadas as seguintes doses de Zn: 0; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0 e 6,0 mg kg⁻¹. Foram utilizadas as seguintes fontes de Zn: Zn-EDTA (7,5% de Zn e d =1,34 g cm⁻³), Zn-lignosulfonato (Zn-LS) (7,0% de Zn e d=1,23 g cm⁻³) e o sulfato de zinco (21% de Zn). Para o cálculo das doses dos quelatos de Zn, foi levada em consideração a concentração do micronutriente e a densidade dos produtos, uma vez que os mesmos se apresentavam na forma líquida. A aplicação destas fontes de zinco foi realizada em mistura com água destilada, no volume total do solo. Após essa aplicação foi realizada a adubação básica, sendo que todos os tratamentos receberam: 50 mg kg⁻¹ de N (nitrato de amônio p.a.), 120 mg kg⁻¹ de K e 49 mg kg⁻¹ de S (sulfato de potássio p.a.), 150 mg kg⁻¹ de P (fosfato de cálcio monobásico p.a.) e 0,5 mg kg⁻¹ de B (ácido bórico p.a.). Quinze dias após a emergência das plantas foram aplicados 100 mg kg⁻¹ de N (nitrato de amônio p.a.).

Após a adubação foi adicionada água destilada, em quantidade suficiente para atingir 80% da capacidade máxima de retenção de água do solo, deixando-se em seguida o solo durante um período de 15 dias e logo após, foram retiradas amostras de

solo de cada tratamento (150 g) nas quais foram realizadas as análises químicas. Posteriormente à retirada das amostras de solo foi efetuada a semeadura, empregando-se 10 sementes de milho (híbrido Somma) por vaso. Sete dias da emergência das plantas efetuou-se o desbaste, deixando-se cinco plantas por vaso. A colheita da parte aérea (cortada rente ao solo) foi realizada 30 dias após a emergência das plantas. Durante todo o período experimental, através da pesagem dos vasos, regas diárias com água destilada foram realizadas, procurando-se manter a umidade do solo em 80% da capacidade máxima de retenção água do solo. Após o corte, a parte aérea das plantas foi lavada, seca em estufa a 65° C e pesada para a determinação da produção de matéria seca. Para a determinação das concentrações de Zn no tecido vegetal, as amostras foram preparadas e analisadas segundo BATAGLIA et al. (1983).

Para a análise de Zn disponível no solo, empregou-se a solução extratora DTPA (LINDSAY & NORVELL, 1978). As concentrações de Zn foram determinadas por espectrofotometria de absorção atômica.

Por meio da relação entre a produção relativa de matéria seca e as concentrações de Zn na planta e no solo foram determinados os níveis críticos de zinco. O valor do nível crítico foi associado à produção relativa de 90%.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, teste de comparação de médias para as fontes (Tukey a 5%) e regressão, sendo utilizado o programa ESTAT (sistema para análises estatísticas, v.2.0). Para cálculo do nível crítico foi utilizado o programa ORIGIN (v.6.0).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos, referentes às concentrações de Zn no solo, Zn na planta, Zn acumulado e produção de matéria seca do milho estão apresentados na Tabela 1 e nas Figuras 1 a 7.

Verifica-se que independentemente da fonte utilizada, a aplicação de Zn aumentou os teores desse micronutriente no solo (Tabela 1), sendo que a fonte Zn-LS proporcionou de maneira significativa, concentrações de Zn no solo levemente superiores às outras fontes. Contrariando estes resultados, SLATON et al. (2005) verificaram que não houve diferença entre a aplicação da fonte orgânica (Zn-LS) e a inorgânica (ZnSO₄).

Tabela 1. Concentrações de Zn no solo e na planta, Zn acumulado e produção de matéria seca do milho em função da aplicação de fontes de doses de Zn.

Fontes (F)	Zn no solo -----mg kg ⁻¹ -----	Zn na planta	Zn acumulado ---µg/vaso---	Matéria seca ---g/vaso---
Sulfato de Zn	1,03	16,61 b	216,39	12,15
Zn-Lignosulfonato	1,14	18,39 a	233,78	11,68
Zn-EDTA	0,95	18,05 ab	229,16	11,71
Teste F	10,69**	3,80*	1,51 ^{ns}	1,84 ^{ns}
Inter. (F x D)	2,22**	0,77 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,44 ^{ns}
C.V.(%)	9,3	11,6	13,7	6,8

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, na coluna, pelo teste de Tukey.

n.s.: não significativo

* significativo a 5% de probabilidade

** significativo a 1% de probabilidade

Nota-se na Tabela 1 que houve interação significativa para Zn no solo entre as fontes e doses, sendo evidenciado na interação (Tabela 2) que o efeito das fontes foi semelhante em todas as doses, exceto na de 4,0 mg kg⁻¹. Nesta dose verificou-se que a

fonte lignosulfonato proporcionou um maior teor de zinco no solo, seguido pelas fontes sulfato e EDTA.

Tabela 2. Desdobramento da interação das doses e fontes de Zn para teor de Zn no solo.

Interação entre fontes e doses de Zn						
Fontes	Doses de Zn (mg kg^{-1})					
	0	0,5	1,0	2,0	4,0	6,0
Sulfato	0,20 A	0,40 A	0,53 A	0,93 A	1,53 B	2,57 A
Zn-LS	0,23 A	0,43 A	0,60 A	1,03 A	1,80 A	2,73 A
EDTA	0,20 A	0,40 A	0,50 A	0,90 A	1,33 C	2,63 A

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas na vertical e letras minúsculas distintas na horizontal diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Chama a atenção o fato do Zn-LS ter proporcionado a maior concentração de Zn no solo. Segundo MORTVEDT (2001) esse produto na realidade, trata-se de um complexo orgânico e não de um quelato, uma vez que eles são produzidos pela reação de sais metálicos com um subproduto da indústria de celulose, onde a estrutura química do agente complexante orgânico não é bem definida. A constante de estabilidade da maioria dos complexos orgânicos parece ser mais baixa do que a dos quelatos sintéticos, ou seja, a taxa e a velocidade de substituição do micronutriente por outros cátions é alta, diminuindo a sua eficiência (MORTVEDT, 1979; MORTVEDT, 2001).

Os valores do coeficiente angular das equações apresentadas na Figura 1 indicam as proporções de Zn aplicadas, em função de cada fonte, que foram recuperadas pelo extrator DTPA. Nota-se que para as fontes sulfato de zinco e Zn-EDTA as quantidades recuperadas estiveram bem próximas (ao redor de 38%) e para o Zn – LS a recuperação foi de 41%. Essas quantidades de Zn recuperadas estão bastante próximas às encontradas por CONSOLINI & COUTINHO (2004), os quais empregaram o sulfato de zinco em solos de textura média. Por outro lado valores mais elevados foram verificados por BUZETTI et al. (1991), que utilizando a fonte ZnSO_4 observaram que o Zn recuperado foi de 50% em solos de textura argilosa.

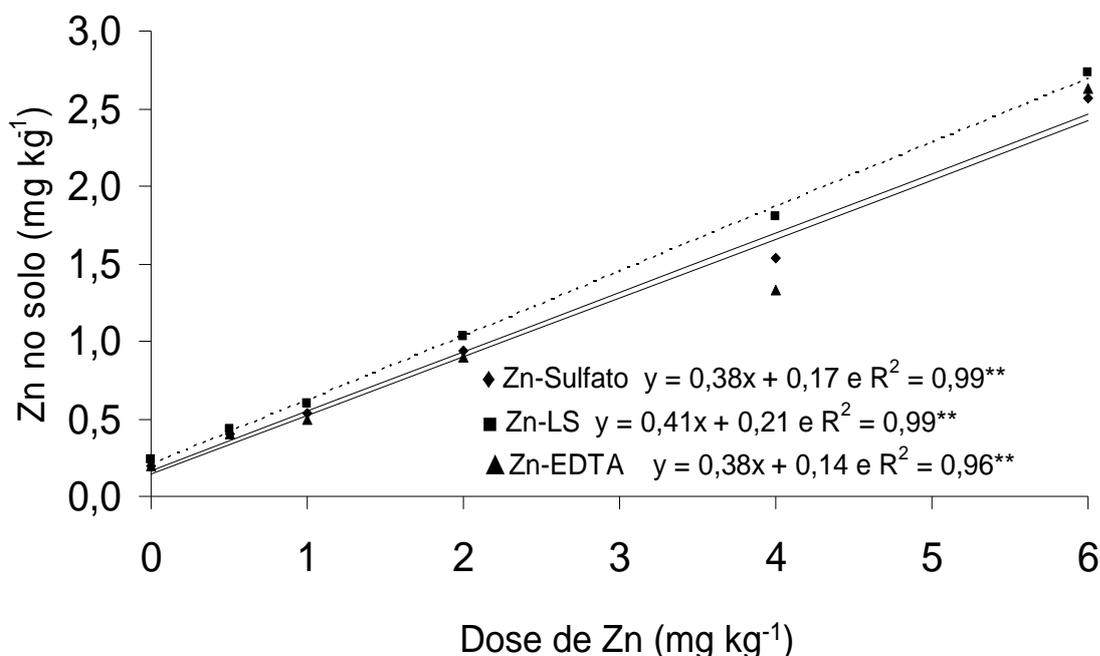


Figura 1 – Zinco no solo, extraído com a solução de DTPA, após a aplicação de doses de zinco nas formas de sulfato, lignosulfonato (Zn-LS) e EDTA.

Semelhante ao comportamento das fontes para as concentrações de Zn no solo, a fonte Zn-LS também proporcionou concentrações de Zn na planta levemente superiores às outras fontes (Tabela 1). Como já discutido no anteriormente, chama a atenção o fato do Zn-LS ter proporcionado maiores concentrações, pois se trata de um complexo orgânico e não de um quelato. Os dados obtidos mostram, entretanto que não houve diferença significativa entre o quelato (Zn-EDTA) e o complexo orgânico (Zn-LS)

Apesar da fonte Zn-LS ter sido significativamente superior, particularmente em relação ao sulfato de zinco, essa maior eficiência não correspondeu às observações de HOLDEN & BROWN (1965) e MORTVEDT (2001), em que a eficiência dos quelatos poderia ser duas a seis vezes maior por unidade de Zn aplicado do que a das formas

inorgânicas. Talvez, condições relacionadas com o pH inicial do solo podem ter interferido nessa questão. O solo utilizado nesse experimento era ácido, enquanto que na maior parte dos estudos onde a fonte de Zn inorgânica era menos efetiva, os solos eram calcários (HOLDEN & BROWN, 1965; PRASAD et al., 1976; HERGERT et al., 1984). Além disso, nos trabalhos não é informada a quantidade do cátion que está quelatado ou complexado. No Brasil, acredita-se que a quantidade não é muito alta, uma vez que ela se reflete diretamente no custo de produção, o que pode inviabilizar a comercialização do produto. Corroborando esta observação, a legislação brasileira de fertilizantes (BRASIL, 2004), procurou garantir um mínimo de 50% do cátion quelatado ou complexado. Em função disto, pode-se estar comparando produtos com o mesmo agente quelatante, mas com o cátion quelatado em quantidades diferentes.

É possível verificar na Figura 2, que as concentrações de Zn na parte aérea das plantas aumentaram com a aplicação do micronutriente. Nota-se, principalmente na presença das doses mais altas de Zn, que os quelatos proporcionaram concentrações mais elevadas do micronutriente que a fonte inorgânica.

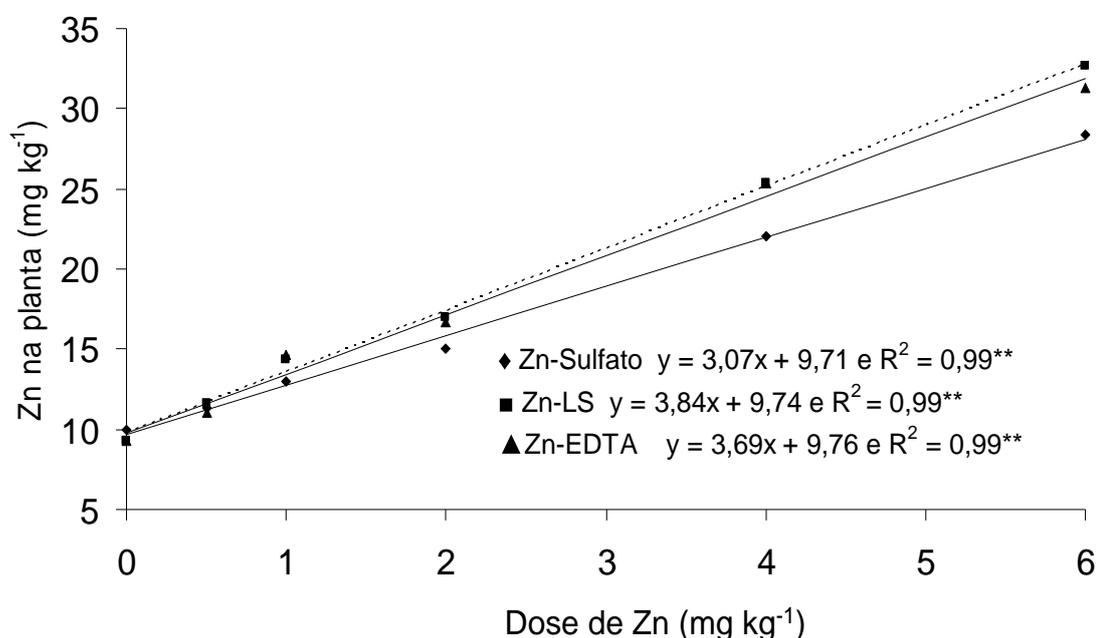


Figura 2– Concentração de zinco na parte aérea de plantas de milho adubado com doses de sulfato de zinco, Zn-lignosulfonato e Zn EDTA

Considerações análogas as concentrações de Zn na parte aérea, podem ser feitas para o Zn absorvido e acumulado na parte aérea das plantas (Figura 3). Dessa forma LINGLE & HOLMBERG (1957) também observaram que a eficiência das fontes de Zn para o milho dependia da dose do micronutriente utilizada. Assim, na presença de uma dose alta de Zn a fonte Zn-EDTA era superior ao sulfato de zinco, ao passo que quando era empregada uma dose baixa do micronutriente, praticamente não havia diferença entre as fontes estudadas. Deve-se mencionar, entretanto, que GOOS et al. (2000) constataram que a absorção de Zn pelas plantas de milho era similar quando se usava a mesma dose de Zn na forma de sulfato ou o Zn-LS. Com relação a fonte Zn-EDTA, os autores HERGERT et al. (1984), verificaram que não houve diferença na quantidade de zinco acumulado em relação ao $ZnSO_4$. A única diferença observada pelos autores foi em solos alcalinos, nos quais a absorção de Zn foi superior com o quelato.

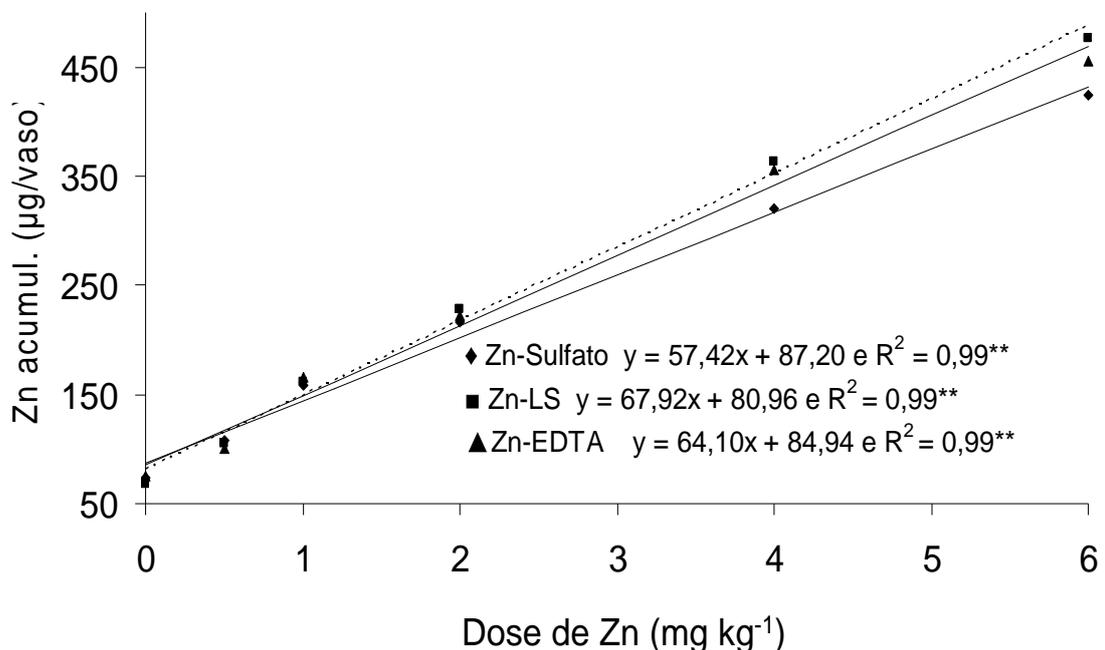


Figura 3– Zinco acumulado na parte aérea de plantas de milho adubado com doses de sulfato de zinco, Zn-lignosulfonato e Zn-EDTA.

Com relação à produção de matéria seca a aplicação do micronutriente aumentou significativamente a produção de matéria seca da parte aérea das plantas de milho (Figura 4), devido ao pH elevado associado a um baixo teor inicial de Zn no solo (RAIJ et al., 1996). Vários trabalhos na literatura também demonstraram a importância da aplicação de Zn para a cultura do milho (RITCHEY et al., 1986; LINS & COX, 1988; GALRÃO, 1995; OBRADOR et al., 2003; CONSOLINI & COUTINHO, 2004).

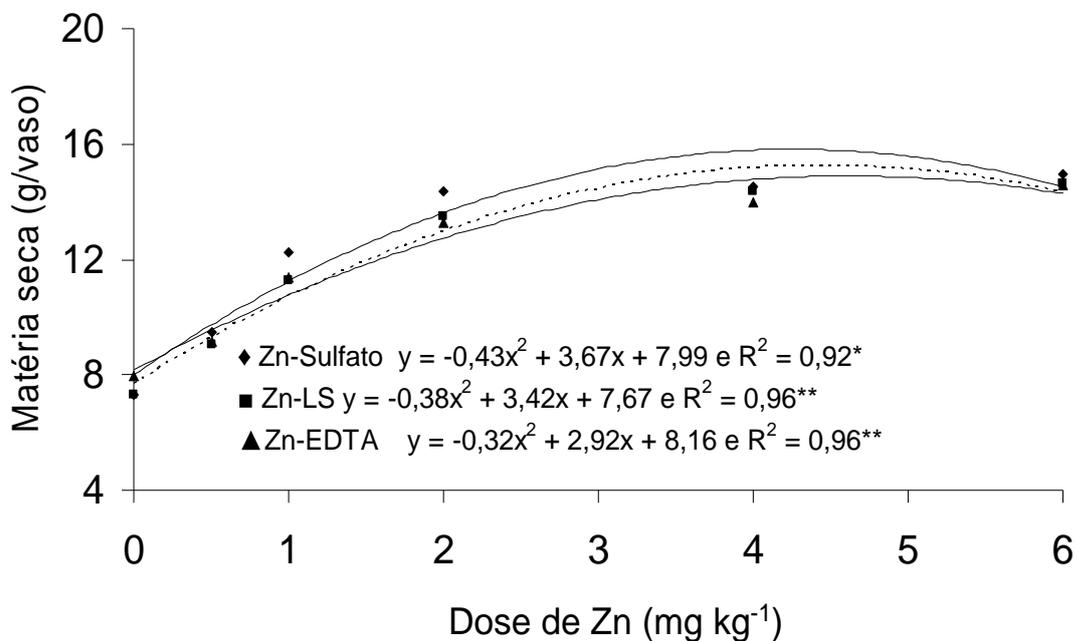


Figura 4 – Matéria seca de parte aérea de plantas de milho adubado com doses de sulfato de zinco, Zn-lignosulfonato e Zn-EDTA.

Na ausência de Zn na adubação ou na presença de doses até 1,0 mg kg⁻¹, as plantas não se desenvolveram adequadamente, sendo observados sintomas de deficiência de Zn. O início dos sintomas foi observado aproximadamente 18 a 20 dias após a emergência das plantas, quando as mesmas possuíam de 4 a 5 folhas completamente expandidas e podem ser descritos como faixas brancas/amareladas entre a nervura principal das folhas e os bordos; folhas novas desenrolando na região

de crescimento eram esbranquiçadas ou de cor amarelo pálido e com crescimento reduzido (Figura 5). As concentrações de Zn nestas plantas encontravam-se entre 9 e 14 mg kg⁻¹, portanto abaixo de 20 mg kg⁻¹, o qual é o limite inferior da faixa de suficiência de Zn para plantas de milho neste estágio de desenvolvimento (VOSS, 1993).

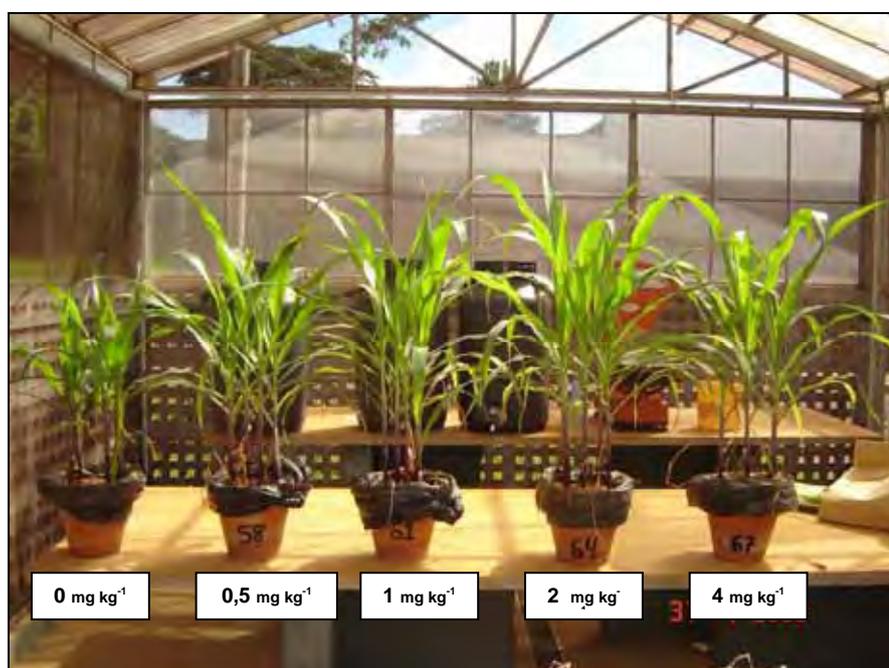


Figura 5. Crescimento da cultura do milho em função das doses de Zn.

A máxima produção de matéria seca esteve associada a doses de Zn próximas a 4 mg kg⁻¹, mas a dose de 2 mg kg⁻¹ já promoveu produção próxima do máximo. BUZETTI et al. (1991) também verificaram um comportamento semelhante, sendo a máxima produção obtida com a aplicação de 2,0 e 2,2 mg kg⁻¹ de Zn, para solos com valores de pH de 5,7 e 6,1. Esse fato chama a atenção, uma vez que a absorção de Zn

continuou aumentando com o incremento das doses de Zn (Figura 3), sem que isto se refletisse no aumento da produção, caracterizando assim, uma “absorção de luxo”.

O comportamento das fontes de Zn na produção de matéria seca foi bastante semelhante (Tabela 1), não havendo diferenças significativas entre as mesmas. Conforme também observado por SLATON et al. (2005), é importante relatar, que nem sempre diferenças nas concentrações de Zn na planta, atribuídas as fontes desse micronutriente, garantirão comportamento distinto das mesmas em termos de produção de matéria seca.

O fato dos quelatos Zn-EDTA e o Zn-LS não terem sido significativamente superiores ao sulfato de zinco em termos de produção, limita economicamente a possibilidade de uso dos mesmos, uma vez que essas fontes são descritas na literatura como apresentando um custo por unidade de micronutriente de cinco a cem vezes maior que as fontes inorgânicas (MORTVEDT, 2001).

Por outro lado, é bastante interessante neste estágio de desenvolvimento da cultura, procurar-se determinar o nível crítico de Zn no solo e na planta, uma vez que é nesta fase que os sintomas de carência do micronutriente se manifestam nas condições de campo.

Verifica-se na Figura 6 que o nível crítico de Zn determinado na parte aérea das plantas foi 16 mg kg^{-1} , valor este bastante próximo aos obtidos por LINS & COX (1988); CARSKY & REID (1990) e BATAGLIA (1991) em plantas (parte aérea) jovens de milho. É importante mencionar que embora o nível crítico de um nutriente possa variar com o órgão (tecido) da planta analisado, época de amostragem, condições de solo e clima, cultivar etc. (MALAVOLTA et al., 1997), o nível crítico ora determinado é bastante próximo aos estabelecidos através da diagnose foliar ($17,5$ a $18,5 \text{ mg kg}^{-1}$), realizada em condições de campo, em estádios mais avançados de desenvolvimento das plantas de milho (RITCHEY et al., 1986; GALRÃO, 1995 e GALRÃO, 1996).

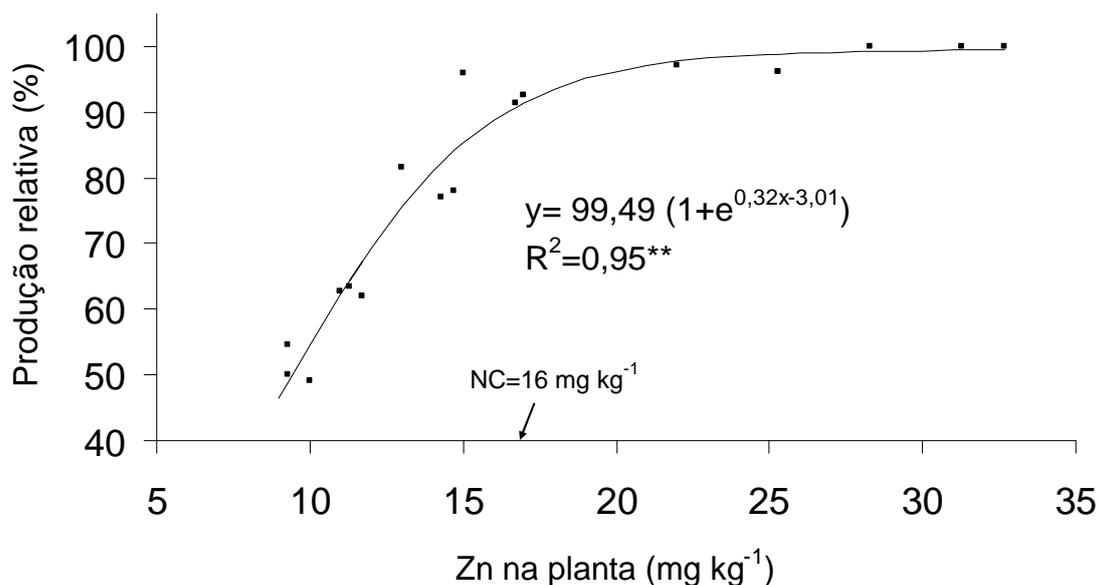


Figura 6 – Nível crítico de Zn na parte aérea das plantas de milho

Com relação ao nível crítico de Zn no solo, o valor determinado foi de 0,9 mg kg⁻¹ (Figura 7), valor este um pouco acima dos determinados por RITCHEY et al. (1986) e GALRÃO (1996) no mesmo tipo de solo. Estas divergências nos níveis críticos de Zn podem ser atribuídas aos valores de pH do solo (LINS & COX, 1988) e as diferentes metodologias utilizadas na determinação do nível crítico.

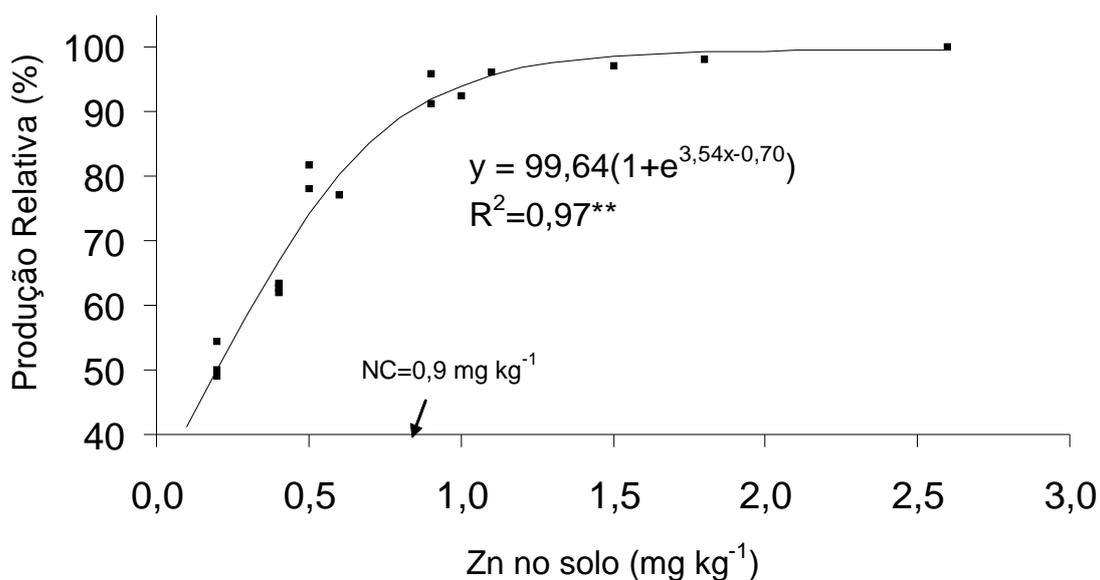


Figura 7 – Nível crítico de Zn no solo

CONCLUSÕES

- A aplicação de Zn, independentemente da fonte considerada, aumentou significativamente a produção de matéria seca da parte aérea de milho e as concentrações do micronutriente no solo e na planta.

- A fonte Zn-Lignosulfonato proporcionou concentrações de Zn no solo e na planta significativamente superiores, particularmente em relação à fonte inorgânica (ZnSO_4).

- As fontes de Zn apresentaram um comportamento semelhante em termos de produção de matéria seca.

- Os níveis críticos de Zn no solo e na parte aérea da planta foram respectivamente 0,9 e 16 mg kg^{-1} .

6 REFERÊNCIAS

ABREU, C.A. Disponibilidade e avaliação dos elementos catiônicos: zinco e cobre,. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P da; RAIJ, B. v.; ABREU, C.A. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal, CNPq; FAPESP; Potafos, 2001, p.124-150.

BARBOSA FILHO, M. P. Cereais. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba, CNPq; Potafos, 1991. p.435-444.

BAR-YOSEF, B. pH-dependent zinc adsorption by soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.43, p. 1059-1099, 1979.

BAR-YOSEF, B.; FISHMAN, S.; TALPAZ, H. A model of zinc movement to single roots in soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, p.1272-1279, 1980.

BATAGLIA, O.C. Análise química de plantas. In: FERREIRA, M.E., CRUZ, M.C.P. **Micronutrientes na Agricultura**. Piracicaba, CNPq; Potafos, 1991, 734 p.

BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78).

BATAGLIA, O.C.; RAIJ, B. van. Soluções extratoras na avaliação da fitodisponibilidade do zinco em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, n.3, p.457-461, 1994.

BATAGLIA, O.C.; RAIJ, B. van. Eficiência de extratores de micronutrientes na análise do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, n.2, p.205-212, 1989.

BOAWN, L. C. Comparison of zinc sulfate and zinc EDTA as zinc fertilizer sources. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.37; p.111-115, 1973.

BRASIL.Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Apoio Rural e Cooperativismo. **Instrução normativa nº 10, de 28 de outubro de 2004. Definições e normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes minerais, destinados à agricultura.** Disponível em:

<<http://oc4j.agricultura.gov.br/agrolegis/do/consultaLei?op=viewTextual&codigo=9851>>. Acesso em: 03 jan.2005

BÜLL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L. T.; CANTARELLA, H. **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p.63-145.

BUZETTI, S. Estudo de eficiência de extratores químicos de zinco, no solo, para o milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, p.367-372, 1992.

BUZETTI, S.; MURAOKA, T.; MAURO, A.O. Doses de zinco em diferentes condições de acidez de um solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n.6, p.913-918, 1991.

CARSKY, R.J.; REID, W.S. Response of corn to zinc fertilization. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v.3, p.502-507, 1990.

CONSOLINI, F.; COUTINHO, E.L.M. Efeito da aplicação de Zn e do pH do solo na disponibilidade do micronutriente. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 26, p.7-12, 2004.

COUTINHO, E.L.M.; VELINE, E. D.; LEMUS ERASMO, E. A.; FLOREZ RONCANCIO, V. J.; MARTINS, D. Resposta do milho pipoca à adubação com zinco em condições de casa de vegetação. **Ciência Agrônômica**, Jaboticabal, v.7, p.31-36, 1992.

DECARO, S.T.; VITTI, G.C.; FORNASIERI FILHO, D.; MELLO, W.J. Efeitos de doses e fontes de zinco na cultura do milho (*Zea mays* L.). **Revista da Agricultura**, Piracicaba, v.58, n.1/2, p.25-36, 1983.

FAGERIA, N.K. Níveis adequados e tóxicos de zinco na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.3, p.390-395, 2000.

FURLANI, A.M.C.; FURLANI, P.R. Resposta de cultivares de milho a zinco em solução nutritiva. **Bragantia**, Campinas, v.55, n.2, p.365-369, 1996.

GALRÃO, E.Z. Métodos de correção da deficiência de zinco para o cultivo do milho num Latossolo Vermelho-Escuro argiloso sob cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, n.2, p.229-233, 1994.

GALRÃO, E.Z. Níveis críticos de zinco para o milho cultivado em um Latossolo Vermelho-Amarelo, fase cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, p.255-260, 1995.

GALRÃO, E.Z. Métodos de aplicação do zinco e avaliação de sua disponibilidade para o milho num Latossolo Vermelho Escuro, argiloso, fase cerrado, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, p. 283-289, 1996.

GALRÃO, E.Z.; MESQUITA FILHO, M.V. Efeito de fontes de zinco na produção de matéria seca do milho em um solo sob cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.5, n.3, p.167-170, 1981.

GOOS, R.J.; THIOUET, J; THIOUET, M. A comparison of the availability of three zinc sources to maize (*Zea mays* L.) under greenhouse conditions. **Biology Fertilizer Soils**, Berlin, v.31, p.343-347, 2000.

HERGERT, G.W.; REHM, G.W., WIESE, R.A. Field evaluations of zinc sources band applied in ammonium polyphosphate suspension. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.48, p.1190-1193, 1984.

HOLDEN, E.R.; BROWN, J.R. Influence of slowly soluble, soluble and chelated zinc on zinc content and yield of alfalfa. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Washington, v.13, p.180-184, 1965.

LINDSAY, W. L. Inorganic equilibria affecting micronutrient in soils. In: MORTVEDT, J. J.; COX, F. R.; SHUMAN, L. M. WELCH, R. M. **Micronutrients in agriculture**. Soil Science Society of America, Madison, p.80-112, 1991.

LINDSAY, W.L.; NORVELL, W.A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.42, n.3, p.421-428, 1978.

LINGLE, J.C.; HOLMBERG, D.M. The response of sweet corn to foliar and soil zinc applications on a zinc deficient soil. **Proceedings of American Society for Horticulture Science**, Alexandria, v. 70, p.308-315, 1957

LINS, I.D.G.; COX, F.R. Effect of soil pH and clay content n the zinc soil test interpretation for corn. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.52, p.1681-1685, 1988.

LOPES, A.S. **Micronutrientes**: filosofias de aplicação e eficiência agrônômica. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos - ANDA, 1999, 72 p. (Boletim Técnico, 8)

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.

MORTVEDT, J.J. Crop response to zinc sources-applied alone or with suspensions. **Fertilizer Solutions**, Michigan, v.23, p.64-79, 1979.

MORTVEDT, J.J. Tecnologia e produção de fertilizantes com micronutrientes. Presença de elementos tóxicos. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; RAIJ, B. van; ABREU, C. A. (Eds). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal, CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p.237-253.

MORTVEDT, J. J. Micronutrient fertilizer technology. In: MORTVEDT, J. J.; COX, F. R.; SHUMAN, L. M.; WELCH, R. M. **Micronutrients in agriculture**. 2. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1991. p. 524-528.

OBRADOR, A.; NOVILLO, J.; ALVARES, J.M. Mobility and availability to plants of two zinc sources applied to a calcareous soil. **Soil Science Society of America Journal**,

Madison, v.67, p. 564-572, 2003.

OHKI, K. Zinc nutrition related to critical deficiency and toxicity levels for sorghum. **Agronomy Journal**, Madison, v.76, p. 253-256, 1984.

OHSE, S.; SANTOS, O.M.; MORODIM, V.; MANFRON, P.A. Efeito do tratamento de sementes de arroz irrigado com zinco em relação a aplicação no substrato. **Revista FZVA**, Uruguaiana, , v.5/6, n.1, p.35-41, 1999.

PRASAD, B.; SINHA, M.K.; RANDHAWA, N.S. Effect of mobile chelating agents on the diffusion of zinc in soils. **Soil Science**, New Brunswick, v. 122, p.260-266, 1976.

PUMPHREY, F.V.; KOEHLER, F.E.; ALLMARAS, R.R.; ROBERTS, S. Method and rates of applying zinc sulfate for corn on zinc-deficient soil in Western Nebraska. **Agronomy Journal**, Madison, v.55, p.235-238, 1963.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; ABREU, C.A. Interpretação de resultados de análise de solo. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico, 1996. p.8-13.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170p.

RITCHEY, K.D.; COX, F.R.; GALRÃO, E.Z.; YOST, R.S. Disponibilidade de zinco para as culturas do milho, sorgo e soja em Latossolo Vermelho-Escuro argiloso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.21, n.3, p. 215-225, 1986.

ROSOLEM, C.A.; FRANCO, G. R. Translocação do zinco e crescimento radicular em milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.807-814, 2000.

SHUMAN, L.M. Chemical forms of micronutrients. In: MORTVEDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M.; WELCH, R.M. (Ed.) **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, 1991. p. 113-144.

SHUMAN, L.M. The effect of soils properties on zinc adsorption by soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.39, p.454-458, 1975.

SLATON, N.A.; GBUR JUNIOR, E.E.; WILSON JUNIOR, C.E.; NORMAN, R.J. Rice response to granular zinc sources varying in water-soluble zinc. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.69, p. 443-454, 2005.

STOYANOVA, Z.; DONCHEVA, S. The effect of zinc supply and succinate treatment on plant grown and mineral uptake in pea plant. **Brazilian Journal Plant Physiology**, Pelotas, v.14, n.2, p.111-116, 2002.

VOLKWEISS, S. J. Fontes e métodos de aplicação. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: CNPq: Potafos, 1991. p.391-412.

VOSS, R.D. Corn. In: BENNETT, W.F. (ed.) **Nutrient deficiencies & toxicities in crop plants**. St. Paul, Minnesota, American Phytopathological Society, 1993. p. 11-14.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.