

# SEÇÃO VIII - FERTILIZANTES E CORRETIVOS

## CRESCIMENTO INICIAL E ABSORÇÃO DE ZINCO PELO MILHO EM FUNÇÃO DO MODO DE APLICAÇÃO E FONTES DO NUTRIENTE<sup>(1)</sup>

C. A. ROSOLEM<sup>(2)</sup> & L. F. FERRARI<sup>(3)</sup>

### RESUMO

Freqüentemente, têm-se obtido aumentos na produção de grãos de milho em resposta ao Zn, em solos brasileiros. O objetivo do presente trabalho foi comparar fontes e modos de aplicação de Zn à cultura do milho. O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação, em vasos de polietileno com capacidade de 10 litros, utilizando-se amostras de um Latossolo Vermelho-Escuro de textura média. Aplicou-se calcário para se atingir 70% de saturação do solo por bases. Os tratamentos consistiram da aplicação de zinco como óxido, sulfato, EDTA e lignossulfonado, na semente (90 g ha<sup>-1</sup>), no sulco de semeadura (5,3 kg ha<sup>-1</sup>) e incorporado (5,3 kg ha<sup>-1</sup>). As plantas foram colhidas 45 dias após a emergência. A aplicação de zinco via semente é eficiente no fornecimento de Zn para o crescimento das plantas até os 45 dias. A incorporação, independentemente da fonte, e o zinco aplicado como EDTA e lignossulfonado proporcionam maior disponibilidade do nutriente ao milho. O crescimento do sistema radicular é prejudicado quando há muito Zn disponível na zona de crescimento. A dose de 5,3 kg ha<sup>-1</sup> de zinco como EDTA ou lignossulfonado, quando aplicada no sulco de semeadura, é fitotóxica ao milho.

**Termos de indexação:** EDTA, lignossulfonado, micronutrientes, óxido de zinco, sulfato de zinco, *Zea mays*.

**SUMMARY:** *EARLY GROWTH AND ZN UPTAKE OF CORN AS AFFECTED BY METHODS AND SOURCES OF ZN APPLICATION*

*Corn grain yield is very responsive to Zn in Brazilian soils. A greenhouse experiment was conducted in the Crop Science Department of the Botucatu College of Agricultural Sciences to compare sources of Zn and their application to corn. Three plants were grown up to 45 days in 10 L pots filled with a Dark Red Latosol (Acrortox, 22% clay). The soil was limed to 70% of base saturation. Zinc was applied to corn seeds (90 g ha<sup>-1</sup>), in the seed furrow, blended with the basal fertilizers (5.3 kg ha<sup>-1</sup>) or incorporated to the soil (5.3 kg ha<sup>-1</sup>) as zinc oxide, zinc sulphate,*

<sup>(1)</sup> Recebido para publicação em setembro de 1997 e aprovado em janeiro de 1998.

<sup>(2)</sup> Professor Titular do Departamento de Agricultura e Melhoramento Vegetal, Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP. Caixa Postal 237, CEP 18603-970 Botucatu (SP). Bolsista do CNPq.

<sup>(3)</sup> Acadêmico de Agronomia, Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP.

*EDTA-Zn and lignosulphonate-Zn. The seed treatment was effective in supplying Zn during early growth of corn. The incorporation, irrespective of Zn source, as well as the chelate sources led to higher Zn availability to the plants. The corn root system was decreased when Zn availability was too high. The 5.3 kg ha<sup>-1</sup> rate of Zn as EDTA or lignosulphonate, when applied in the seed furrow, is phytotoxic to corn plants.*

*Index terms: EDTA, lignosulphonate, micronutrients, root, zinc oxide, Zea mays, zinc sulphate.*

## INTRODUÇÃO

O zinco é o micronutriente que proporciona as maiores respostas de produção de grãos de milho, em solos brasileiros. Isto decorre da deficiência generalizada desse micronutriente, principalmente em solos das regiões do cerrado (Lopes, 1975). Respostas positivas à aplicação de zinco têm sido relatadas (Bahia & Braga, 1974).

Várias características químicas (pH, CTC, matéria orgânica, cátions e ânions solúveis) e mineralógicas (tipo e teor de argila, óxidos e hidróxidos de Al e Fe) influenciam as reações de adsorção de Zn pelo solo (Shuman, 1975). Camargo (1991) considera a adsorção e a precipitação como os principais mecanismos que controlam os níveis de micronutrientes na solução do solo. Segundo Shuman (1976), existe estreita correlação entre a capacidade de fixação de zinco pelas argilas e a respectiva CTC. Muitos autores têm, ainda, encontrado relações positivas e significativas entre os teores de argila e óxidos e hidróxidos de Fe e Al com a adsorção de Zn (Kalbasi et al., 1978; Pombo & Klamt, 1986), sendo esta altamente dependente do pH, havendo aumento significativo do fenômeno com sua elevação (Shuman, 1976).

Outra correlação positiva é a existente entre a fixação do Zn e o teor de matéria orgânica no solo (Bandyopadhyaya & Adhikari, 1968), sendo esta uma das frações do solo mais ativas em transformar o Zn solúvel em formas dificilmente disponíveis às plantas.

Também se tem constatado deficiência de Zn em plantas cultivadas em solos com altos teores de P ou que receberam adubações fosfatadas pesadas (Brown et al., 1970). Isto ocorre por efeito de diluição ou por antagonismo entre Zn e P na absorção, ou, ainda, pela formação de compostos insolúveis de Zn com P no solo ou na planta.

Outros mecanismos reduzem a disponibilidade do Zn no solo para as culturas, atuando por meio de diversos componentes orgânicos e inorgânicos, pela adsorção iônica ou molecular ou por precipitação em formas pouco solúveis. Portanto, fica evidente que a eficiência ou a máxima utilização do Zn contido nos fertilizantes, quando aplicado ao solo em forma localizada ou a lanço, é bem reduzida. Neptune & Suhel (1979), trabalhando com Zn marcado em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), verificaram que as percentagens de absorção do nutriente proveniente do adubo foram de 3,6; 1,4 e 0,9, nos solos PV, LE e TE, respectivamente. Resultados semelhantes foram encontrados por Shaw et al. (1954), que encontraram máxima utilização de 4,3%.

Assim, torna-se importante a escolha de fontes e formas de aplicação de Zn de tal forma que sua disponibilidade às culturas seja aumentada, tornando seu uso mais eficiente do ponto de vista prático, técnico e econômico.

Geralmente, a fonte de Zn mais utilizada e mencionada nas recomendações, no Brasil, é o ZnSO<sub>4</sub> (Malavolta, 1986). Entretanto, em ensaio desenvolvido com milho por Galvão & Mesquita Filho (1981), tanto o óxido como as fritas (FTE Br-12) foram tão eficientes como o sulfato. O óxido e as fritas devem ser finamente moídos para serem efetivos a curto prazo (Hoeft & Walsh, 1971). Por outro lado, os quelatos geralmente têm sido mais eficientes em solos neutros e calcários, ou, ainda, com alta capacidade de fixação de Zn (Holden & Brown, 1965).

Considerando a baixa mobilidade do Zn, aplicações a lanço ou em linha na superfície do solo sem incorporação não são eficientes, a menos que seja usado um quelato que apresente certa mobilidade no solo ou que as raízes das plantas sejam bastante superficiais, como no caso do arroz irrigado por alagamento e em pastagens. Aplicações a lanço com incorporação, em linha ao lado e abaixo das sementes ou em covas, em que o Zn é colocado em posição favorável para contato com as raízes, são preferíveis (Mortvedt, 1985).

Outro problema na aplicação de zinco reside na dificuldade de distribuição uniforme (Lopes & Guilherme, 1992). Para contornar os problemas relacionados com a aplicação, seria necessária a utilização do Zn via revestimento de semente, como ocorre no caso de sementes de leguminosas, em que se usam o Mo e Co a fim de melhorar a fixação simbiótica do nitrogênio. Resultados positivos com tal técnica já foram encontrados no caso da utilização do Zn (Santos et al., 1989). No caso, fontes solúveis de micronutrientes, como sulfatos e quelatos, são preferíveis, mas há casos em que as fontes insolúveis também podem ser eficientes (Giordano, 1977).

Aplicações foliares, embora se utilizem pequenas doses, são muito restritas às culturas perenes, uma vez que seu uso, no caso do milho, é praticamente inviável, em função da arquitetura da planta e da maioria dos métodos de aplicação disponíveis.

No Brasil, recomenda-se, em solos deficientes, a aplicação de 2,5 a 5,0 kg ha<sup>-1</sup> de Zn (EMBRAPA, 1993), juntamente com a adubação de sementeira. Segundo Santos et al. (1989), a aplicação de 30 a 90 g ha<sup>-1</sup> de Zn, em tratamento de sementes, proporciona produtividades semelhantes àquelas obtidas com a

aplicação de 2,0 kg ha<sup>-1</sup> de Zn no sulco de semeadura. Segundo Sagiorato et al. (1993), houve resposta do milho ao tratamento das sementes com um produto comercial que continha Zn. Por outro lado, diversas empresas têm recomendado a aplicação de vários produtos que contêm Zn às sementes do milho, sem respaldo definitivo da literatura, uma vez que são poucos os trabalhos nessa área. Por outro lado, em função da interação com P, a mistura do Zn na adubação de semeadura seria, teoricamente, o método menos recomendável.

O objetivo do presente trabalho foi comparar fontes e modos de aplicação de Zn à cultura do milho, em casa de vegetação, procurando relacionar a resposta da planta à absorção de zinco e ao crescimento radicular.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação junto ao Departamento de Agricultura e Melhoramento Vegetal, Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu, em vasos de polietileno com capacidade de 10 litros, em 1995. A terra utilizada foi coletada da camada arável de um Latossolo Vermelho-Escuro textura média e passada em peneira de malha de 4 mm. A análise inicial do solo mostrou teores muito baixos de P e K. Assim, além da calagem, efetuada em dose calculada para se atingir 70% de saturação do complexo de troca por bases, utilizando-se calcário finamente moído com PRNT de 90%, foi feita aplicação de 40 mg kg<sup>-1</sup> de P, como superfosfato simples, e de 30 mg kg<sup>-1</sup> de K, como cloreto de potássio, misturados com toda a terra dos vasos. Depois disso, os vasos ficaram em incubação úmida (aproximadamente 80% da capacidade de saturação) por 30 dias. Após a incubação, a análise da terra (Raij & Quaggio, 1983) revelou pH 5,6, 12,2 g dm<sup>-3</sup> de matéria orgânica, 15,1 mg dm<sup>-3</sup> de P, 19 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de H + Al, 1,6 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de K, 16,3 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Ca, 9,3 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Mg e 46,2 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de CTC, com saturação por bases de 59%. O teor de Zn extraído por DTPA foi de 0,5 mg dm<sup>-3</sup> (Baker & Amacher, 1982).

O delineamento experimental foi um fatorial 4 x 3 com um tratamento adicional, inteiramente casualizado, com 4 repetições. Os tratamentos consistiram da aplicação de zinco como óxido (60% de Zn), sulfato (22% de Zn), EDTA (14% de Zn, 85% de quelação) e lignossulfonado (12% de Zn, 85% de quelação), em três modos de aplicação: na semente (90 g ha<sup>-1</sup>, calculados para 20 kg de semente), no sulco (5,3 kg ha<sup>-1</sup>) e incorporado (5,3 kg ha<sup>-1</sup>), além de uma testemunha sem zinco. Abriu-se um sulco de comprimento igual ao diâmetro do vaso (30 cm) e com profundidade de 5 cm, onde foram distribuídas, uniformemente, a adubação de semeadura (todos os tratamentos) e as fontes de Zn (159 mg de Zn por vaso) nos tratamentos em que era prevista sua aplicação. Os adubos foram misturados no sulco e cobertos por uma camada de terra. Nos tratamentos com Zn

incorporado, as fontes do nutriente foram aplicadas nas mesmas quantidades que no sulco de semeadura, porém foram misturadas ao volume de terra do vaso. A adubação de semeadura constou de 20 mg kg<sup>-1</sup> de N, como uréia; 60 mg kg<sup>-1</sup> de P, como superfosfato triplo, e 30 mg kg<sup>-1</sup> de K, como cloreto de potássio.

A seguir, realizou-se a semeadura, utilizando-se cinco sementes por vaso. Após a emergência das plântulas, foi feito desbaste, deixando-se três plantas por vaso. A umidade do solo foi mantida próxima a 80% da capacidade de retenção do solo, por meio de pesagens e regas.

Após 10 dias do desbaste, aplicou-se a adubação em cobertura, na dose de 70 mg kg<sup>-1</sup> de N, como uréia, e 40 mg kg<sup>-1</sup> de K, como cloreto de potássio. Decorridos 15 dias dessa aplicação, foi necessária outra adubação em cobertura, na mesma dose, pelo fato de as plantas manifestarem requeima e sintomas de deficiência de N (amarelecimento) nas folhas mais velhas.

Decorridos 45 dias da emergência, as plantas foram colhidas. A parte aérea foi cortada junto ao solo e, em seguida, foram avaliados a altura das plantas e o diâmetro do colmo. As raízes foram separadas da terra por peneiramento através de malha de 0,5 mm, sob água corrente. A perda de raízes finas pode ser considerada desprezível. A seguir, as raízes foram chacoalhadas para eliminar o excesso de água e enxutas com papel toalha, determinando-se, em seguida, a massa das raízes úmidas. Foi tomada uma subamostra de, aproximadamente, 20% do sistema radicular (Goubran & Richards, 1979), que foi preservada em álcool etílico a 20%, em geladeira, até quando foram avaliados o comprimento (Tennant, 1975), o raio e a superfície radiculares (Hallmark & Barber, 1984).

As partes da planta foram secas em estufa a 65°C, por 72 horas, para determinação da massa da matéria seca. Os materiais da parte aérea e raízes foram moídos e analisados quanto ao teor de Zn, empregando-se digestão por via úmida com mistura nitroperclórica. O Zn foi determinado por espectrofotometria de absorção atômica.

Por ocasião da colheita, foram tomadas amostras de terra dos vasos que receberam Zn incorporado, que foram analisadas conforme Raij e Quaggio (1983), com exceção do Zn, que foi extraído com DTPA (Baker & Amacher, 1982).

Os resultados foram submetidos à análise de variância, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

## RESULTADOS

O resultado da análise de terra após a colheita do experimento mostrou que não houve diferença nos teores de nutrientes no solo em função dos tratamentos, com os seguintes valores médios: pH 5,5, 20,0 g dm<sup>-3</sup> de matéria orgânica, 15 mg dm<sup>-3</sup> de P, 18 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de H + Al, 1,8 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de K,

19 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Ca, 13 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Mg e 52 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de CTC, com saturação por bases de 65%. Não foi verificado efeito das fontes de Zn no teor do nutriente no solo, que apresentou, em média, 1,6 mg dm<sup>-3</sup> de Zn.

Embora não se disponha de resultados quantitativos, notou-se que a emergência e o desenvolvimento das plântulas foram mais lentos nos tratamentos que receberam Zn no sulco de semeadura. Tal sintoma foi leve nos vasos com óxido de zinco (duas repetições com sintoma), mais acentuado nos vasos com sulfato de zinco (três repetições com sintoma) e mais acentuado ainda nos vasos com zinco quelatizado (quatro repetições com sintoma). Os vasos que receberam zinco quelatizado tiveram menor número de plantas emergidas, além de crescimento mais lento. As plântulas dos tratamentos que receberam 5,3 kg ha<sup>-1</sup> de zinco na forma quelatizada, no sulco de semeadura, apresentaram sintomas de fitotoxicidade de zinco, caracterizada por menor desenvolvimento, estrias, amarelecimento e áreas esbranquiçadas nos bordos e extremidades das folhas, evoluindo para necrose em manchas paralelas às nervuras nos casos mais graves. Tais sintomas foram observados intensamente até o aparecimento da 3ª folha. Com o tempo, os sintomas foram tornando-se menos evidentes, acabando por desaparecer.

Por outro lado, a testemunha, a partir da terceira semana, manifestou sintomas de deficiência de zinco de acordo com a sintomatologia apresentada por Malavolta & Dantas (1987), ou seja, as folhas novas, na região de crescimento, eram esbranquiçadas ou de cor amarelo-pálida com tons roxos, apresentando, ainda, faixas brancas ou amareladas entre a nervura principal e as bordas. Outro sintoma notado, por ocasião da colheita das plantas para as mensurações, foi que a medula, na região do colo, encontrava-se bastante escura. A exemplo dos sintomas foliares, o enegrecimento da medula também foi observado somente no tratamento sem zinco.

A adubação com zinco, em média, não proporcionou maior crescimento das plantas de milho em relação à testemunha (Quadro 1). Entretanto, quando foi empregado fertilizante com Zn na forma quelatizada, tanto com EDTA como com lignossulfonado, no sulco de semeadura, notou-se decréscimo em todas as características vegetativas analisadas (Quadro 1).

Com relação aos resultados obtidos para as características morfológicas da raiz, não houve interação significativa entre modos de aplicação e fontes de Zn. Assim, são apresentadas as médias obtidas para esses tratamentos (Quadro 2). As médias obtidas para os tratamentos em fatorial não diferiram significativamente da testemunha. Nota-se, entretanto, tendência de diminuição no comprimento radicular, quando se aplicou o Zn no sulco de semeadura e incorporado, diferença que foi significativa no caso da superfície radicular. Nesse caso, a ordem de decréscimo foi diferente, uma vez que as plantas que receberam Zn no sulco de semeadura tiveram diâmetro menor que as demais. A densidade de comprimento radicular também

**Quadro 1. Efeito de fontes e modos de aplicação de zinco sobre algumas características vegetativas de plantas de milho**

Fonte	Modo de aplicação		
	Semente	Sulco	Incorporado
<b>Altura da planta, cm</b>			
Testemunha		24,5 <sup>ns</sup>	
Óxido	25,8aA <sup>(1)</sup>	26,2aA	26,0aA
Sulfato	26,4aA	25,0aA	26,7aA
EDTA	25,3aA	20,9bB	26,8aA
Lignossulfonado	26,3aA	21,6bB	26,0aA
CV (%)		6,9	
<b>Diâmetro do colmo, mm</b>			
Testemunha		17,1 <sup>ns</sup>	
Óxido	17,0aA	16,5aA	17,1 <sup>a</sup> A
Sulfato	17,3aA	16,8aA	17,7 <sup>a</sup> A
EDTA	16,8aA	14,1bB	17,6 <sup>a</sup> A
Lignossulfonado	17,6aA	13,9bB	16,3 <sup>a</sup> A
CV (%)		6,6	
<b>Matéria seca da parte aérea, g pl<sup>-1</sup></b>			
Testemunha		24,7 <sup>ns</sup>	
Óxido	28,7aA	25,9aA	29,3aA
Sulfato	27,4aA	25,7aA	28,3aA
EDTA	26,7aA	15,9bB	27,5 <sup>a</sup> A
Lignossulfonado	30,7aA	12,3bB	26,1 <sup>a</sup> A
CV (%)		13,6	
<b>Matéria seca da raiz, g pl<sup>-1</sup></b>			
Testemunha		17,2 <sup>ns</sup>	
Óxido	19,4aA	15,1aA	16,3 <sup>a</sup> A
Sulfato	16,8aA	14,0aA	16,5 <sup>a</sup> A
EDTA	15,9aA	7,3bB	15,6 <sup>a</sup> A
Lignossulfonado	19,4aA	7,0bC	14,1 <sup>a</sup> B
CV (%)		18,8	

<sup>ns</sup> A média da testemunha não difere significativamente da média dos tratamentos em fatorial (teste F, P < 0,05).

<sup>(1)</sup> Letras diferentes, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, indicam diferença significativa (teste de Tukey, P < 0,05).

tendeu a diminuir, quando se passou de óxido para sulfato e para fontes quelatizadas, diferença que foi significativa, quando analisados os resultados obtidos para superfície radicular (Quadro 2). Nesse caso, o raio da raiz não foi afetado pelos tratamentos.

As fontes de Zn não tiveram efeito significativo sobre os teores e quantidades de Zn nas raízes de milho, e a interação das fontes com métodos de aplicação também não foi significativa. Entretanto, em média, as plantas que receberam adubação com Zn tiveram maiores teores e quantidades do nutriente na raiz do que a testemunha (Quadro 3). Plantas que receberam Zn no sulco de semeadura apresentaram muito mais Zn na raiz que as demais, enquanto as que receberam tratamento de sementes com Zn mostraram os menores valores (Quadro 3).



**Quadro 2. Características morfológicas do sistema radicular de plantas de milho em função da fonte e modo de aplicação de zinco**

Tratamento	Densidade de comprimento	Superfície	Raio
	cm cm <sup>-3</sup>	dm <sup>2</sup>	mm
<b>Modo de aplicação</b>			
Semente	17,9a	219,4a	0,21a
Sulco	15,3a	158,3b	0,17b
Incorporado	13,0a	176,5ab	0,23a
<b>Fonte</b>			
Óxido	19,1a	224,4a	0,20a
Sulfato	15,2a	190,6ab	0,21a
EDTA	13,6a	159,6b	0,20a
Lignossulfonado	13,7a	164,5b	0,20a
<b>Testemunha</b>			
	13,7 <sup>ns</sup>	190,2 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>
<b>CV (%)</b>			
	36,8	27,8	21,2

<sup>ns</sup> A média da testemunha não difere significativamente da média dos tratamentos em fatorial (teste F, P < 0,05).

<sup>(1)</sup> Letras diferentes nas colunas, dentro de fontes e dentro de modos de aplicação, indicam diferença significativa (teste de Tukey, P < 0,05).

**Quadro 3. Teores e quantidades de zinco nas raízes de plantas de milho em função do modo de aplicação do nutriente**

Modo de aplicação	Teor	Quantidade
	mg kg <sup>-1</sup>	mg planta <sup>-1</sup>
Testemunha	21,5**	0,36**
Semente	44,4c <sup>(1)</sup>	0,78c
Sulco	456,4 <sup>a</sup>	4,44a
Incorporado	216,8b	3,38b
<b>CV (%)</b>		
	35,0	31,8

\*\* A média da testemunha difere significativamente da média dos tratamentos em fatorial (teste F, P < 0,01).

<sup>(1)</sup> Letras diferentes nas colunas indicam diferença significativa (teste de Tukey, P < 0,05).

A adubação com Zn, em média, proporcionou maior absorção do nutriente pelo milho (Quadro 4). Quando o Zn foi aplicado na semente, não se observou diferença entre as fontes na absorção de Zn pelo milho, mas tanto os teores como as quantidades absorvidas e a absorção por unidade de superfície radicular foram bem menores com este método de aplicação do nutriente. O óxido de Zn proporcionou maior absorção de Zn quando incorporado, assim como o sulfato, embora a diferença para o último não seja tão grande. Por outro lado, o sulfato proporcionou maior teor e absorção de Zn por unidade de superfície de raiz que o óxido. No caso do Zn quelatizado, os teores na parte aérea e a

**Quadro 4. Teores e quantidades de zinco na parte aérea das plantas de milho e quantidades de zinco absorvidas por unidade de superfície radicular em função de fontes e modos de aplicação do nutriente**

Fonte	Modo de aplicação		
	Semente	Sulco	Incorporado
————— mg kg <sup>-1</sup> —————			
Testemunha		10**	
Óxido	14aB <sup>(1)</sup>	34cB	142bA
Sulfato	14aB	116bA	152abA
EDTA	13aB	205aA	184abA
Lignossulfonado	12aB	211aA	189aA
CV (%)		21,8	
————— mg planta <sup>-1</sup> —————			
Testemunha		0,26*	
Óxido	0,38aB	0,86bB	4,22aA
Sulfato	0,38aC	2,96aB	4,16aA
EDTA	0,33aC	2,52aB	5,19aA
Lignossulfonado	0,34aC	3,09aB	4,92aA
CV (%)		24,3	
————— µg dm <sup>-2</sup> —————			
Testemunha		1,4**	
Óxido	1,7aB	4,2cB	21,0cA
Sulfato	1,8aB	18,2bA	22,5bcA
EDTA	1,9aB	23,6abA	30,5abA
Lignossulfonado	1,6aB	28,6aA	33,8A
CV (%)		25,2	

\*\* A média da testemunha difere significativamente da média dos tratamentos em fatorial (teste F, P < 0,01).

<sup>(1)</sup> Letras diferentes, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, indicam diferença significativa (teste de Tukey, P < 0,05).

absorção por unidade de superfície de raiz foram ainda maiores que aqueles obtidos com o sulfato. Nesses casos, não houve diferença entre aplicação no sulco ou com incorporação. Com relação à quantidade de Zn absorvida pelo milho, a incorporação foi sempre mais eficiente.

## DISCUSSÃO

Apesar dos sintomas de deficiência de Zn notados nas plantas sem adubação com Zn, não houve resposta em termos de crescimento. É possível que 45 dias não tenham sido suficientes para a manifestação da deficiência em termos de crescimento vegetativo, o que, certamente, iria ocorrer se as plantas fossem cultivadas por tempo maior.

A utilização de Zn quelatizado no sulco de semeadura, nas mesmas doses que sulfato e óxido, prejudicou o crescimento da parte aérea e do sistema radicular das plantas, como consequência da

fitotoxicidade observada no início do experimento. Isso ocorreu como resultado da elevada disponibilidade de zinco no solo, uma vez que os quelatos são fontes mais eficientes, protegendo o nutriente de reações indesejáveis no solo (Giordano, 1975). A hipótese é sustentada pelos altos teores de Zn observados na parte aérea da planta, que, embora não atingissem os 400 mg kg<sup>-1</sup> considerados tóxicos por Jones Jr. (1972), prejudicaram o crescimento.

Dessa forma, fica claro que para a utilização no sulco de semeadura, juntamente com a adubação fosfatada, o Zn quelatizado poderia ser utilizado em dose bem menor que o óxido e o sulfato. Por outro lado, ficou patente a baixa eficiência do óxido, quando aplicado no sulco de semeadura, por se tratar de fonte de baixa solubilidade; nesta condição, sua liberação ficou prejudicada em função da pequena superfície de contato com o solo e com o sistema radicular.

O tratamento das sementes, nas doses utilizadas, foi suficiente para manter o crescimento normal das plantas até os 45 dias, embora os teores de Zn na parte aérea estivessem, assim como as plantas da testemunha, abaixo do teor crítico de 17,5 mg kg<sup>-1</sup>, sugerido por Ritchey et al. (1986). Resultado comparável foi obtido por Galvão (1994), que, testando vários métodos de aplicação de zinco na cultura do milho, verificou que a dose de 1,2 kg ha<sup>-1</sup> de zinco, aplicada a lanço, proporcionou o maior rendimento de grãos (7.365 kg ha<sup>-1</sup> contra 3.880 kg ha<sup>-1</sup> da testemunha), com teores foliares de 14 mg kg<sup>-1</sup> e 12 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente. No mesmo trabalho, o tratamento de sementes com 1 kg ha<sup>-1</sup> de óxido de zinco resultou numa produção de 6.156 kg ha<sup>-1</sup> (2.276 kg ha<sup>-1</sup> a mais que a testemunha) e num teor foliar de 13 mg kg<sup>-1</sup>. Hibberd (1970) obteve 775 kg ha<sup>-1</sup> a mais na produção de grãos de milho em relação à testemunha com a aplicação de 1 kg ha<sup>-1</sup> de ZnO nas sementes, não diferindo da aplicação no sulco de semeadura (10,8 kg ha<sup>-1</sup> como óxido e sulfato).

Ainda em relação aos métodos de aplicação, Pumphrey et al. (1963) e Galvão (1994) demonstraram a superioridade da aplicação a lanço em relação ao sulco sobre o rendimento de grãos. Sakal et al. (1983) não constataram diferenças significativas sobre o rendimento de grãos com a aplicação de ZnSO<sub>4</sub> a lanço e no sulco de semeadura, provavelmente em função das altas doses (5 e 10 kg ha<sup>-1</sup> de Zn) empregadas no experimento. Quanto às fontes, óxido e sulfato foram superiores ao EDTA e lignossulfonado. Hergert et al. (1977) verificaram que as diferenças entre as fontes de zinco ocorreram de acordo com as doses. Em baixas doses (0,11 kg ha<sup>-1</sup> de Zn), o EDTA foi superior ao ZnSO<sub>4</sub> e ZnO, revelando comportamento contrário em altas doses (3,3 kg ha<sup>-1</sup> de Zn), o que dá suporte aos resultados obtidos neste trabalho.

Considerando os resultados obtidos no presente trabalho, associados aos da literatura, é possível inferir-se que o Zn quelatizado, por evitar reações indesejáveis com o solo e com o P do adubo, proporciona maior eficiência da adubação com esse micronutriente. Tal fato minimiza os efeitos negativos da mistura do Zn com o adubo de semeadura, o que pode levar à

utilização de menores doses de Zn.

Embora neste experimento tenham ocorrido diferenças significativas entre fontes e modos de aplicação de zinco, a literatura consultada deixa claro que a eficiência relativa de ambos depende da dose em que se fazem as comparações.

## CONCLUSÕES

1. A incorporação do Zn é o modo que proporciona maior disponibilidade do nutriente às plantas de milho.

2. A aplicação de zinco como EDTA e lignossulfonado são as formas que melhor o disponibilizam à cultura do milho, podendo permitir significativas reduções de dose do nutriente, sem prejuízo na produção de matéria seca ou nutrição da planta.

3. O crescimento do sistema radicular pode ser prejudicado, sofrendo toxidez quando há muito Zn disponível no solo, na zona de crescimento radicular.

4. A dose de 5,3 kg ha<sup>-1</sup> de zinco como EDTA ou lignossulfonado, quando aplicada no sulco de semeadura, causa fitotoxidez à cultura do milho.

## LITERATURA CITADA

- BAHIA, F.G.F.T.C. & BRAGA, M.J. Influência da adubação fosfatada e calagem sobre a absorção de zinco em dois solos de Minas Gerais. *R. Ceres*, 21:167-192, 1974.
- BAKER, D.E. & AMACHER, M.C. Nickel, copper, zinc and cadmium. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H. & KEENEY, D.R. eds. *Methods of soil analysis, chemical and microbiological properties*. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1982. p.323-336.
- BANDYOPADHYA, A.K. & ADHIKARI, M. Trace element relationships in rice soils: I-Alluvial soils of West Bengal. *Soil Sci.*, 105:224-247, 1968.
- BROWN, A.L.; KRANTZ, B.A.; EDDINGS, J.L. Zinc-phosphorus interactions as measured by plant response and soil analysis. *Soil Sci.*, 110:415-420, 1970.
- CAMARGO, O.A. *Micronutrientes na agricultura*. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1991. 244p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA. *Recomendações técnicas para o cultivo do milho*. Brasília, 1993. 204p.
- GALVÃO, E.Z. Métodos de correção da deficiência de zinco para o cultivo de milho num latossolo vermelho-escuro argiloso sob cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:229-233, 1994.
- GALVÃO, E.Z. & MESQUITA FILHO, M.V. Efeito de fontes de zinco na produção de matéria seca do milho em um solo sob cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 5:167-170, 1981.

- GIORDANO, P.M. Micronutrient deficiencies in crops: causal factors and correction. In: FAO/IAEA. Isotope-aided micronutrient studies in rice production with special reference to zinc deficiency. Vien, FAO, 1975. p.177-204.
- GIORDANO, P.M. Efficiency of zinc fertilization for flooded rice. *Plant Soil*, 50:673-684, 1977.
- GOUBRAN, F.W. & RICHARDS, D. The estimation of root length in samples and subsamples. Comparison of a visual and an automatic methods. *Plant Soil*, 52:77-83, 1979.
- HALLMARK, W.B. & BARBER, S.A. Root growth and morphology, nutrient uptake and nutrient status of early growth of soybeans as affected by soil P and K. *Agron. J.*, 76:209-212, 1984.
- HERGERT, G.W.; WIESE, R.A. & REHM, G.W. Effectiveness of band-applied zinc sources. *Fert. Solut.*, 21:66-77, 1977.
- HIBBERD, E.E. Methods of correcting zinc deficiency in irrigated maize grown on a black earth soil, Darling downs, Queensland. *Qd. J. Agric. Anim. Sci.*, 27:89-94, 1970.
- HOEFT, R.G. & WALSH, L.M. Effectiveness of Zn frits for corn (*Zea mays* L.) as influenced by Zn concentration, granule size and method of application. *Agron. J.*, 63:84-86, 1971.
- HOLDEN, E.R. & BROWN, J.R. Influence of slowly soluble, and chelated zinc on zinc content and yield of alfafa. *J. Agric. Food Chem.*, 13:180-184, 1965.
- JONES Jr., J.B. Plant tissue analysis for micronutrients. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W.L., eds. *Micronutrients in agriculture*. Madison, Soil Science Society of America, 1972. p.319-346.
- KALBASI, M.; RACZ, G.J. & LOEWEN-RUDGERS, L.A. Mechanism of zinc adsorption by iron and aluminum oxides. *Soil Sci.*, 125:146-150, 1978.
- LOPES, A.S. A survey of fertility status of soils under "cerrado" vegetation in Brazil. Raleigh, North Carolina State University, 1975. 138p. (Tese de Mestrado)
- LOPES, P.S. & GUILHERME, L.R.G. Fertilizantes e corretivos agrícolas: Sugestão de manejo para uso eficiente. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20, Piracicaba, 1992. Anais. Campinas, Fundação Cargill, 1992. p.39-70.
- MALAVOLTA, E. Micronutrientes na adubação. S.I., Nutriplant, 1986. 70p.
- MALAVOLTA, E. & DANTAS, J.P. Nutrição e adubação do milho. In: PATERNIANI, E. & VIEGAS, G.P. eds. *Melhoramento e produção do milho*. 2.ed. Campinas, Fundação Cargill, 1987. v.2. p.541-593.
- MORTVEDT, J.J. Micronutrient fertilizers and fertilization practivs. *Fert. Res.*, 7:221-235, 1985.
- NEPTUNE, A.M.L. & SUHET, A.R. Efeito do ferro (<sup>59</sup>Fe) e do zinco (<sup>65</sup>Zn) e da natureza de três tipos de solos na produção de matéria seca e na composição química do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Carioca e na fixação de nitrogênio atmosférico por esta leguminosa. *Anais ESALQ*, 36:1-42, 1979.
- POMBO, L.C.A. & KLANT, E. Adsorção de zinco e cobre de dois solos do Estado do Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 10:191-194, 1986.
- PUMPHREY, F.V.; KOEHLER, F.E.; ALLMARAS, R.R. & ROBERTS, S. Method and rate of applying zinc sulfate for corn on zinc deficient soil in Western Nebraska. *Agron. J.*, 55:235-238, 1963.
- RAIJ, B. van & QUAGGIO, J.A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agronômico, 1983. (Boletim Técnico, 81)
- 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. *Pesq. Agropec. Bras.*, 21:215-225, 1986.
- SAGIORATO, J.A.; TEIXEIRA, N.T.; CARVALHO, J.M.; SARTORI, J.A. & OLIVEIRA, J.R.S. Adubação com micronutrientes na cultura do milho. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21., Petrolina, 1993. Anais. Petrolina, SBSC/EMBRAPA, 1993. p.394-395.
- SAKAL, R.; SINGH, A.P. & SINGH, B.P. A comparative study of the different methods and sources of zinc application. *Indian J. Agric. Res.*, 17:90-94, 1983.
- SANTOS, E.A.; PARDUCCI, S.; SANTOS, G. & SANTOS, O.S. Produção de grãos de milho em função de níveis de adubação de zinco e boro aplicados nas sementes e no solo em condições da tecnologia usual do produtor da região sudoeste de Goiás. Rio Verde, GO, EMGOPA, 1989.
- SHAW, E.; MENZEL, R.G. & DEAN, L.A. Plant uptake of <sup>65</sup>Zn from soils and fertilizers in the greenhouse. *Soil Sci.*, 77:205-214, 1954.
- SHUMAN, L.M. The effect of soil properties on zinc adsorption by soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 39:454-458, 1975.
- SHUMAN, L.M. Zinc adsorption isotherms for soil clays with and without iron oxides removed. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 40:349-352, 1976.
- TENNANT, D. A test of a modified line intersect method of estimating root length. *J. Ecol.*, 63:955-1001, 1975.