

Notas Científicas

Resposta da soja à adubação com zinco em solo com teores acima do nível crítico

Maykom Ferreira Inocêncio⁽¹⁾, Álvaro Vilela de Resende⁽²⁾, Antonio Eduardo Furtini Neto⁽¹⁾,
Matheus Peres Veloso⁽¹⁾, Fernanda Moreira Ferraz⁽¹⁾ e Clério Hickmann⁽¹⁾

⁽¹⁾Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciência do Solo, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000 Lavras, MG. E-mail: maykomagronomia@yahoo.com.br, afurtini@dcs.ufla.br, matheusveloso@website.com.br, nandaferraz87@yahoo.com.br, clerioh@gmail.com ⁽²⁾Embrapa Milho e Sorgo, Caixa Postal 285, CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG. E-mail: alvaro@cnprms.embrapa.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar a resposta da soja a estratégias de adubação com zinco, em Latossolo com disponibilidade inicial do micronutriente acima do nível crítico. O experimento consistiu em 16 tratamentos com diferentes combinações de fontes, doses e formas de aplicação de Zn. Foram avaliados a produtividade da soja e os teores de Zn no solo, nas folhas e nos grãos. A fertilização com Zn aumentou a produtividade da soja, mesmo em solo com teor do micronutriente acima do nível crítico. A resposta à adubação varia de acordo com as estratégias de aplicação de zinco. Há indícios de que o nível crítico de Zn no solo deve ser revisto.

Termos para indexação: *Glycine max*, adubação foliar, micronutriente, nutrição de plantas.

Soybean response to zinc fertilization in soil with contents above critical level

Abstract – The objective of this work was to evaluate the response of soybean to strategies of zinc fertilization in an Oxisol with initial availability of the micronutrient above the critical level. The experiment consisted of 16 treatments combining different sources, doses, and modes of Zn application. Soybean yield and Zn content in soil, leaves, and grains were evaluated. Zinc fertilization increased soybean yield, even in a soil with the micronutrient availability above critical level. Response to fertilization varies according to zinc application strategies. There is evidence that Zn critical level in soils should be revised.

Index terms: *Glycine max*, foliar fertilization, micronutrient, plant nutrition.

A dinâmica do zinco no solo é complexa. Há baixas perdas do nutriente por lixiviação, em razão de sua alta afinidade pelos colóides minerais do solo. Esse fato confere efeito residual prolongado às adubações com o micronutriente (Valladares et al., 2009; Han et al., 2011). Para Fageria (2000), o nível crítico de Zn em solos muito argilosos é de 0,8 mg dm⁻³ e, para Galvão (2004), de 1 mg dm⁻³, com emprego do extrator Mehlich-1.

Atualmente, alguns técnicos recomendam que os agricultores continuem a aplicar Zn mesmo quando a análise de solo apresenta teores acima dos níveis críticos. A consolidação do sistema de plantio direto e o contínuo incremento da produtividade das lavouras podem justificar esse procedimento (Brandt et al., 2006; Santos et al., 2009; Kutman et al., 2010). Portanto, é possível que os níveis críticos relatados na

literatura estejam subestimados para a atual realidade da agricultura brasileira. Além disso, o efeito residual da adubação com zinco que, de acordo com Galvão (1986) seria suficiente para quatro colheitas, talvez não seja mais válido para os atuais sistemas de cultivo intensivos, o que aponta para a necessidade de readequação das recomendações de manejo da adubação com Zn em solos da região do Cerrado.

Outro aspecto importante é o de que novos produtos contendo Zn são lançados com frequência, e a diversidade de fertilizantes disponíveis com o nutriente pode fazer com que o agricultor utilize esses produtos sem observar critérios técnicos adequados. Várias dessas fontes contêm outros nutrientes ou aditivos com função hormonal ou protetora, o que indica que sua eficiência agrônômica é afetada por outros componentes além do Zn (Oliveira et al., 2003). Estudos de avaliação

agronômica dessas novas fontes ainda são escassos e não oferecem informações conclusivas quanto à sua eficiência, sobretudo em condições de alta fertilidade do solo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a resposta da soja [*Glycine max* (L.) Merr.] a diferentes estratégias de adubação com Zn, em Latossolo com disponibilidade inicial do micronutriente acima do nível crítico.

O experimento foi realizado em Latossolo Vermelho distroférico, de textura muito argilosa (660 g kg⁻¹ de argila), na região do Cerrado, na Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, MG. Antes da instalação do experimento, de acordo com análise inicial do solo, foram aplicados, a lanço, 1,1 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico (35% de CaO e 12% de MgO), 300 kg ha⁻¹ de gesso agrícola, 22,9 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (MAP), 98,4 kg ha⁻¹ de K₂O (KCl) e 3 kg ha⁻¹ de boro (H₃BO₃). Realizou-se a incorporação com aração e gradagem à profundidade de 0–20 cm e, em seguida, o milho foi semeado como cultivo de cobertura, tendo-se usado 57 kg ha⁻¹ de nitrogênio (ureia), aos 28 dias após a semeadura. Após 47 dias, o milho foi dessecado e a parte aérea foi picada e removida para permitir o estabelecimento dos tratamentos com Zn.

A fertilidade do solo foi caracterizada antes da aplicação dos tratamentos, tendo-se obtido: pH em H₂O, 5,9; 3,6 dag kg⁻¹ de MOS; 9 mg dm⁻³ de P (Mehlich-1), 53 mg dm⁻³ de K e 15 mg dm⁻³ de S; 4,2, 1,1, 0,1, 4,1 e 9,6 cmol_c dm⁻³ de Ca, Mg, Al, H+Al e T, respectivamente; saturação por bases de 57%; e 0,6, 1, 32, 46 e 3,6 mg dm⁻³ de B, Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente. Observou-se que a disponibilidade inicial de Zn de 3,6 mg dm⁻³, está, portanto, bem acima do nível crítico de 1 mg dm⁻³ proposto por Galvão (2004).

Utilizou-se o delineamento experimental em blocos ao acaso, com quatro repetições. Foram utilizadas parcelas de 24 m² (oito linhas de 6 m de comprimento, espaçadas em 0,5 m), e a área útil foi constituída por quatro linhas centrais com 1 m de bordadura em cada extremidade. O experimento consistiu de 16 tratamentos (Tabela 1), com diferentes alternativas de adubação com Zn, que variaram quanto à dose fornecida, aos métodos de aplicação (via solo a lanço e localizada, via semente e via foliar) e às fontes utilizadas (na forma de sulfato, óxido, quelato, incorporado à fórmula NPK, além de outros produtos comerciais disponíveis aos agricultores). Em novembro

de 2009, após aplicação manual da adubação de base, a soja foi semeada em sulcos previamente abertos com implemento mecanizado. A adubação N-P-K de base foi feita com 450 kg ha⁻¹ da fórmula 02-20-20, com ou sem Zn, dependendo do tratamento (Tabela 1). Utilizou-se a cultivar BRS Valiosa RR, com uma população aproximada de 240 mil plantas por hectare. As sementes foram tratadas com fungicida, inseticida, cobalto (3 g ha⁻¹), molibdênio (30 g ha⁻¹) e inoculante de rizóbio. Os produtos utilizados para fornecimento de Zn via semente foram adicionados no momento de seu tratamento com defensivos e da inoculação com rizóbio. Nos estádios V5 e R1, os tratamentos foliares foram aplicados por meio de pulverizador pressurizado com CO₂. Quando necessário, foram feitos o controle de pragas e doenças, bem como irrigação para suprir a demanda hídrica durante o ciclo da cultura.

À época do florescimento (R2), foram realizadas amostragens de solo e planta para caracterização dos efeitos dos tratamentos. Amostras de solo, constituídas de cinco subamostras, foram extraídas nas linhas e nas entrelinhas de plantio, separadamente, na camada de 0–20 cm de profundidade. A análise de solo de foi feita conforme Silva (1999). Para a análise foliar, coletou-se a primeira folha fisiologicamente madura, do ápice para a base (terceiro ou quarto trifólio, com pecíolo), o que totalizou 20 folhas por parcela, as quais, depois de lavadas, foram secadas em estufa de circulação forçada de ar (65°C).

A produção de grãos foi determinada com umidade corrigida para 13%. As folhas e os grãos foram moídos em moinho tipo Willey, para determinação dos teores totais de Zn, segundo Malavolta et al. (1997). Os dados foram submetidos a análises de variância, com uso do programa Sisvar, e as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Não houve diferenças significativas entre os tratamentos quanto à disponibilidade de Zn pelo extrator Mehlich-1, aos 57 dias após a aplicação dos tratamentos (Tabela 1). Ao se considerar que a disponibilidade inicial era de 3,6 mg dm⁻³, houve tendência de redução do teor de Zn nessa amostragem realizada durante o florescimento. Ainda assim os valores ficaram bem acima do nível crítico de 1 mg dm⁻³ (Galvão, 2004), independentemente do tratamento. Os dados de pH e saturação por bases também se mantiveram relativamente equilibrados

entre os tratamentos, e não tiveram relação nítida com as variações na disponibilidade de Zn.

Os teores foliares de Zn, no florescimento da soja, enquadraram-se no intervalo de suficiência de 20 a 50 mg kg⁻¹ (Tecnologias de produção de soja, 2011), exceto nos tratamentos 9 e 12, em que os valores excederam o limite superior da faixa de suficiência (Tabela 1). Esses resultados estão de acordo com os de disponibilidade do nutriente no solo. Esses dois tratamentos tiveram os maiores aportes de Zn por meio de pulverizações foliares. Além disso, a baixa mobilidade do micronutriente nos tecidos foliares (Galvão, 2004; Taiz & Zeiger, 2004) pode ter contribuído para os maiores teores observados. A atividade iônica do Zn no floema é baixa, por causa do pH alcalino (em torno de 8,0) e da alta concentração

de íons fosfato na seiva elaborada. Essas características promovem a formação de complexos pouco solúveis, na forma de óxidos, hidróxidos e fosfatos (Moreira et al., 2003) – de menor redistribuição para as áreas de crescimento meristemático (Taiz & Zeiger, 2004) –, e mantêm elevados os teores nas folhas que receberam pulverização com Zn.

A produtividade de grãos variou entre 2.556 e 3.485 kg ha⁻¹, com diferenças de até 35%, ou 15,5 sacas por hectare (Tabela 1). Maiores produtividades foram obtidas nos tratamentos 3, 8, 9, 11 e 14. Contudo, a resposta produtiva da soja não pôde ser associada diretamente às quantidades aplicadas ou aos teores foliares de Zn.

O tratamento 7, em que a fonte de Zn foi aplicada via semente, conferiu menor produtividade, em

Tabela 1. Descrição dos tratamentos com zinco e atributos do solo, teores de zinco no solo (Mehlich-1), nas folhas e nos grãos, bem como produtividade de grão e quantidade de zinco exportada pela cultura da soja em resposta aos tratamentos⁽¹⁾.

Nº	Tratamento ⁽²⁾	Zn aplicado (kg ha ⁻¹)	Forma de aplicação ⁽³⁾	Época de aplicação ⁽⁴⁾	pH em H ₂ O		Saturação por bases (%)		Zn no solo (mg dm ⁻³)		Zn na planta (mg kg ⁻¹)		Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)	Eficiência produtiva (%)	Zn exportado (g ha ⁻¹)
					Linha	Entrelinha	Linha	Entrelinha	Linha	Entrelinha	Folha	Grãos			
1	Controle	0,00	-	-	5,7	5,8	57	54	2,1	3,4	28c	43a	2.690b	100	116b
2	AC com Zn	3,00	Lanço NI	AS	5,7	5,9	54	56	3,2	2,4	38c	54a	3.033b	113	164a
3	AC + Zn no NPK	4,80	Lanço NI + sulco	AS + semeio	5,7	5,8	54	54	4,1	2,7	33c	43a	3.348a	124	144a
4	Zn no NPK sulco	1,80	Sulco	Semeadura	5,5	5,7	48	52	3,1	2,3	34c	48a	2.971b	110	143a
5	Zn no NPK	1,80	Lanço NI	Semeadura	5,8	5,7	55	56	2,9	2,8	30c	41a	3.041b	113	125b
6	Óxido Zn semente	1,80	Semente	Semeadura	5,7	5,7	55	56	2,3	2,3	32c	46a	2.648b	98	122b
7	Broadacre semente	0,18	Semente	Semeadura	5,7	5,9	57	60	2,4	2,2	30c	48a	2.775b	103	133b
8	Broadacre foliar	0,27	Foliar	V5	5,7	5,8	52	56	2,5	2,7	30c	47a	3.327a	124	156a
9	Sulfato de Zn foliar	0,80	Foliar	V5 e R1	5,6	5,8	58	55	2,7	2,6	53b	41a	3.431a	128	141b
10	Tradecorp foliar	0,06	Foliar	V5	5,8	6,0	58	60	2,7	2,9	32c	44a	3.004b	112	132b
11	Znitro foliar	0,10	Foliar	V5	6,0	6,0	59	60	2,5	2,8	33c	51a	3.327a	124	170a
12	Phytogard Zn foliar	0,40	Foliar	V5 e R1	5,8	5,9	56	56	2,8	2,8	87a	48a	2.771b	103	133b
13	Phytogard K foliar	0,00	Foliar	V5 e R1	5,7	5,8	51	52	2,5	2,6	30c	40a	3.002b	112	120b
14	Biozyme foliar	0,01	Foliar	R1	5,6	5,8	53	55	2,5	2,7	36c	48a	3.485a	130	167a
15	Água pura foliar	0,00	Foliar	V5 e R1	5,7	5,7	52	54	2,2	3,2	32c	43a	2.993b	111	129b
16	Coquetel	1,99	Tratamentos 4, 7, 13 e 14	-	5,9	6,1	65	66	3,3	2,6	34c	48a	2.556b	95	123b
CV (%)					3,1	3,9	5,7	7,5	2,8	2,8	16,0	14,6	10,7	-	20,5

⁽¹⁾Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. ⁽²⁾Descrição dos tratamentos: 1, sem aplicação de zinco; 2, adubação corretiva (AC) com ZnSO₄; 3, tratamento 2 + 0,4% de Zn na fórmula N-P-K 02-20-20 (450 kg ha⁻¹) no sulco; 4, 0,4% de Zn na fórmula N-P-K 02-20-20 (450 kg ha⁻¹); 5, 0,4% de Zn na fórmula N-P-K 02-20-20 (450 kg ha⁻¹) na superfície; 6, 50 g kg⁻¹ de ZnO (72,3% de Zn) via semente; 7, 0,3 L ha⁻¹ do produto Broadacre Zn Moli (60% de Zn e 6% de MO) via semente; 8, 0,45 L ha⁻¹ do produto Broadacre Zn Moli via foliar; 9, 2 kg ha⁻¹ de ZnSO₄ via foliar; 10, 0,5 kg ha⁻¹ do produto Tradecorp (Zn-EDTA, 14% de Zn) via foliar; 11, 0,5 L ha⁻¹ do produto Znitro (15% de Zn e 10% de N) via foliar; 12, 2 L ha⁻¹ do produto Phytogard Zn (10% de Zn e 40% de P₂O₅) via foliar; 13, 2 L ha⁻¹ do produto Phytogard K (20% de K₂O e 40% de P₂O₅) via foliar; 14, 0,4 L ha⁻¹ do produto Biozyme TF (2,43% de Zn; 1,73% de N; 5% de K₂O; 0,08% de B; 0,49% de Fe; 1% de Mn; e 2,1% de S) via foliar; 15, água pura via foliar; 16, combinação dos tratamentos 4, 7, 13 e 14. À exceção dos tratamentos 3, 4, 5 e 16, todos os demais receberam, na adubação de plantio, 450 kg ha⁻¹ de N-P-K (02-20-20), sem Zn. ⁽³⁾Lanço NI, lanço não incorporado. ⁽⁴⁾AS, antes da semeadura.

comparação ao tratamento 8, com aplicação foliar (Tabela 1). Essa menor produtividade também foi observada nos tratamentos 6 e 16, que envolveram a adição de Zn às sementes. Portanto, a aplicação de produtos contendo Zn diretamente nas sementes de soja não contribuiu para ganhos de produtividade. Esses produtos foram adicionados no momento do tratamento das sementes, juntamente com fungicida, inseticida, cobalto, molibdênio e inoculante de rizóbio. Assim, eles podem ter prejudicado o processo de nodulação e fixação biológica de nitrogênio (Tecnologias de produção de soja, 2011). Esperava-se que a opção de mesclar vários produtos em diferentes formas de aplicação, no tratamento 16, tivesse efeito positivo sobre a produtividade. Portanto, o fato desse tratamento ter apresentado o menor rendimento absoluto de grãos não era esperado. Isso indica que é necessário cautela ao se utilizar combinações de insumos para melhor nutrição e vigor da lavoura, pois esta estratégia nem sempre é segura.

A fonte do tratamento 12 reduziu a produtividade em quase quatro sacas por hectare, em comparação ao tratamento 13, com produto de composição análoga porém sem Zn. O tratamento 12 resultou em maior teor foliar de Zn (87 mg kg⁻¹); portanto, é possível que a absorção pelas plantas tenha atingido níveis prejudiciais, visto que teores acima de 72 mg kg⁻¹ são considerados excessivos para a cultura (Tecnologias de produção de soja, 2011).

As diferenças em produtividade foram as principais responsáveis pela variação da exportação de Zn pela soja (Tabela 1). A colheita resultou em exportações de 116 a 170 g ha⁻¹. Portanto, fica evidente que a produtividade obtida tem impacto importante na dinâmica e nos estoques de Zn no sistema solo-planta. Assim, a restituição do nutriente exportado deve ser constantemente considerada nos programas de adubação.

Teoricamente, com conteúdo de Zn acima de 1 mg dm⁻³, o solo deveria ser capaz de suprir a demanda nutricional da cultura (Nascimento & Fontes, 2004; De Muner et al., 2011). Entretanto, as respostas à adubação observadas neste trabalho, em solo argiloso, com teores acima de 2 mg dm⁻³, indicam que o nível crítico de Zn para soja na região do Cerrado deve ser revisto.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, pelo apoio financeiro; e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela concessão de bolsa.

Referências

- BRANDT, E.A.; SOUZA, L.C.F. de; VITORINO, A.C.T.; MARCHETTI, M.E. Desempenho agrônomo de soja em função da sucessão de culturas em sistema de plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, v.30, p.869-874, 2006.
- 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**, v.4, p.390-395, 2000.
- GALRÃO, E.Z. Micronutrientes. In: GOEDERT, W.J. (Ed.). **Solos dos Cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. Planaltina: Embrapa-CPAC; São Paulo: Nobel, 1986. p.237-259.
- GALRÃO, E.Z. Micronutrientes. In: SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. p.185-226.
- HAN, X.; LI, X.; UREN, N.; TANG, C. Zinc fractions and availability to soybeans in representative soils of Northeast China. **Journal of Soils and Sediments**, v.11, p.596-606, 2011.
- KUTMAN, U.B.; YILDIS, B.; OZTURK, L.; CAKMAK, I. Biofortification of durum wheat with Zinc through soil and foliar applications of nitrogen. **Cereal Chemistry**, v.87, p.1-9, 2010.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1997. 319p.
- MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; HEINRICHS, R.; TANAKA, R.T. Influência do magnésio na absorção de manganês e zinco por raízes destacadas de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.95-101, 2003.
- DE MUNER, L.H.; RUIZ, H.A.; ALVAREZ VENEGAS, V.H.; NEVES, J.C.L.; FREIRE, F.J.; FREIRE, M.B.G. dos S. Disponibilidade de zinco para milho em resposta à localização de fósforo no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.29-36, 2011.
- NASCIMENTO, C.W.A.; FONTES, R.L.F. Correlação entre características de latossolos e parâmetros de equações de adsorção de cobre e zinco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.965-971, 2004.
- OLIVEIRA, S.C.; COSTA, M.C.G.; CHAGAS, R.C.S.; FENILLI, T.A.B.; HEINRICHS, R.; CABRAL, C.P.; MALAVOLTA, E. Resposta de duas cultivares de arroz a doses de zinco aplicado como oxissulfato. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.387-396, 2003.
- SANTOS, H.C.; FRAGA, V.S.; RAPOSO, R.W.C.; PEREIRA, W.E. Cu e Zn na cultura do sorgo cultivado em três classes de

solos. I. Crescimento vegetativo e produção. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.125-130, 2009.

SILVA, F.C. da (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

TECNOLOGIAS de produção de soja – região Central do Brasil 2012 e 2013. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 261p. (Embrapa Soja. Sistemas de produção, 15).

VALLADARES, G.S.; SANTOS, G.C.G. dos; ABREU, C.A. de; CAMARGO, O.A. de; FERRERO, J.P. Zinco total e disponível em amostras de perfis de solos do Estado de São Paulo. **Bragantia**, v.68, p.1105-1114, 2009.

Recebido em 21 de setembro de 2011 e aprovado em 31 de agosto de 2012