



BRENO HENRIQUE ARAÚJO

**TECNOLOGIAS DE COMPLEMENTAÇÃO
NUTRICIONAL COM ZINCO E USO DE
BIORREGULADORES PARA MILHO E SOJA**

LAVRAS - MG

2013

BRENO HENRIQUE ARAÚJO

**TECNOLOGIAS DE COMPLEMENTAÇÃO NUTRICIONAL COM
ZINCO E USO DE BIORREGULADORES PARA MILHO E SOJA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Álvaro Vilela de Resende

LAVRAS - MG

2013

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Araújo, Breno Henrique.

Tecnologias de complementação nutricional com zinco e uso de
biorreguladores para milho e soja / Breno Henrique Araújo. – Lavras
: UFLA, 2013.

69p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

Orientador: Álvaro Vilela de Resende.

Bibliografia.

1. Adubação foliar. 2. Micronutrientes. 3. Biorreguladores. 4.
Bioestimulante I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.8

BRENO HENRIQUE ARAÚJO

**TECNOLOGIAS DE COMPLEMENTAÇÃO NUTRICIONAL COM
ZINCO E USO DE BIORREGULADORES PARA MILHO E SOJA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 05 de julho de 2013.

Dr. Antônio Eduardo Furtini Neto

UFLA

Dr. Silvino Guimarães Moreira

UFSJ

Dr. Álvaro Vilela de Resende
Orientador

LAVRAS - MG

2013

À inesquecível Vovó Irene e aos meus pais, Raimundo e Cláudia.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, acima de tudo.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Ciência do Solo (DCS), pela oportunidade de realização do Mestrado.

À FAPEMIG, pelo auxílio financeiro e concessão de bolsas.

À Embrapa Milho e Sorgo e seus funcionários pela viabilização do experimento a campo e possibilidade de vivência em pesquisa

Ao Dr. Álvaro Vilela de Resende pela orientação, constante disponibilidade em ensinar, pelas correções e sugestões.

Ao Dr. Antônio Eduardo Furtini Neto pelos ensinamentos e auxílio.

Ao Dr. Silvino Guimarães Moreira pela amizade, confiança, compreensão e apoio em todos os momentos.

Aos amigos, em especial, Julian Junio, Hécio Canuto, Clério Hickmann pelas disciplinas compartilhadas e amizade constante.

Aos meus pais, Raimundo e Cláudia, pela total entrega a minha formação.

Ao meu irmão Guilherme Araújo pelo incentivo, apoio e exemplo de superação.

A minha eterna namorada Barthira Araújo pela paciência, incentivo e por ter sido forte nos momentos em que a saudade era grande.

Aos grandes amigos Alliston Souza, Eduardo Diniz, Eduardo Drummond, Fernando Durão, Fernando Rati, Geraldo Dodevan, Marcos Lopes e Milton Carmo.

À minha madrinha Andreia Cunha e meu padrinho Rogério Ladeira.

Aos bolsistas da Embrapa Milho e Sorgo, Raquel Oliveira Batista, Otávio Pontes Conceição, Roney

Mendes Gott e Alexandre Fernandes Cardinali, pelo apoio na condução do experimento.

A todos que contribuíram com essa realização pessoal e profissional.

“Saúde é a real conexão criatura-Criador, e a
doença, o contrário momentâneo de tal fato”.

Joseph Gleber

RESUMO

É grande a oferta de insumos para o fornecimento de micronutrientes e complementação hormonal nas culturas do milho e da soja. Os agricultores têm à sua disposição uma gama de produtos para aplicação visando proporcionar equilíbrio nutricional, maior vigor vegetativo e tolerância a estresses. Contudo, ainda há carência de experimentação que confirme a efetividade de tais insumos em condições diversas de clima, solo e manejo das lavouras. Nesse sentido, conduziu-se um experimento com objetivo de avaliar a resposta do milho e da soja a diferentes práticas de complementação nutricional com Zn e uso de biorreguladores em ambiente de alto potencial produtivo sob sistema de plantio direto na região de Sete Lagoas-MG. Os tratamentos envolveram o uso de produtos que vêm sendo comercializados para as culturas do milho e da soja. Cada produto foi aplicado segundo as indicações do fabricante. Foram comparados 13 tratamentos, em quatro repetições, no delineamento de blocos ao acaso. Foram avaliados os teores de zinco nas folhas e nos grãos, a quantidade deste micronutriente exportada pela colheita e a produtividade de grãos de milho e soja nas safras 2010/11 e 2011/12, respectivamente. Para os níveis de produtividade alcançados nos experimentos com milho (média de 11,0 t ha⁻¹) e soja (média de 4,0 t ha⁻¹), as

diferentes práticas de complementação nutricional com Zn e uso de biorreguladores proporcionaram produtividades estatisticamente iguais ao tratamento controle.

Palavras-chave: Micronutriente. Adubação foliar. Biorregulador. Bioestimulante.

ABSTRACT

There is a variety of agricultural inputs for micronutrient supply and hormone supplementation to corn and soybean crops. Farmers have at their disposal a range of products for application aiming to provide nutritional balance, greater vigor and stress tolerance. However, there is still lack of experimentation to confirm the effectiveness of such inputs under different conditions of climate, soil and crop management. In this sense, we conducted experiments to evaluate the response of corn and soybeans to different practices of nutritional supplementation with zinc (Zn) and use of biostimulants in a field of high yield potential under no-tillage system in the region of Sete Lagoas, Minas Gerais State . The treatments involved the use of products that are being commercialized for corn and soybeans in Brazil. Each product was applied according to the manufacturer's instructions. We compared 13 treatments with four replications in a randomized complete block design. It were evaluated the levels of zinc in leaves and grains, the amount of this micronutrient exported by harvest and the grain yield of corn and soybean crops in 2010/11 and 2011/12, respectively. The different practices of nutritional supplementation with Zn and use of biostimulants resulted in grain yield statistically equal

to the control treatment for both crops. The average yield was 11.0 t ha⁻¹ for corn and 4.0 t ha⁻¹ for soybeans

Keywords: Micronutrient. Foliar fertilization. Plant growth hormone. Biostimulant.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Descrição dos tratamentos de complementação nutricional com zinco e uso de biorreguladores na cultura do milho (safra 2010/11). Sete Lagoas, MG.....	39
Tabela 2	Descrição dos tratamentos de complementação nutricional com zinco e uso de biorreguladores na cultura da soja (safra 2011/12). Sete Lagoas, MG.	45
Tabela 3	Valores de referência para a avaliação econômica dos tratamentos para complementação nutricional com Zn e uso de biorreguladores nas culturas de milho e soja. Sete Lagoas, MG.....	11
Tabela 4	Descrição dos tratamentos com zinco, atributos do solo, teores de zinco no solo (Mehlich-1), nas folhas e nos grãos, produtividade de grãos, quantidade de zinco exportada na colheita do milho, custo e rentabilidade dos tratamentos.....	16
Tabela 5	Descrição dos tratamentos com zinco, atributos do solo, teores de zinco no solo (Mehlich-1), nas folhas e nos grãos, produtividade de grãos, quantidade de zinco exportada na colheita da soja, custo e rentabilidade dos tratamentos.....	30
Tabela 6	Produção acumulada de grãos e Zn exportado via colheita em função de tratamentos para complementação nutricional com Zn e uso de biorreguladores nas culturas de milho e soja. Sete Lagoas, MG.	35

SUMÁRIO

C:\Users\JESSICA\Desktop\Arquivo Final para impressão

Dissertação- Revisado Álvaro.docx - _Toc371931519

1	INTRODUÇÃO	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	Sistemas intensivos de produção de grãos em plantio direto	16
2.2	Tecnologias de manejo nutricional associadas a sistemas de alta produtividade	20
2.3	Uso de micronutrientes - Zinco	24
2.4	Uso de Biorreguladores	32
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	37
3.1	Experimento com milho.....	37
3.2	Experimento com soja	42
3.3	Análises estatísticas	48
3.4	Avaliação econômica.....	48
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
4.1	Cultura do milho (safra 2010/11).....	11
4.2	Cultura da soja (safra 2011/12).....	26
4.3	Respostas cumulativas	34
5	CONCLUSÕES	36
	REFERÊNCIAS	37
	APÊNDICES.....	48

1 INTRODUÇÃO

Uma das principais limitações ao desenvolvimento agrícola da região do Cerrado é a condição de baixa fertilidade original dos seus solos. Estes, são naturalmente ácidos, apresentam elevados teores de alumínio (Al^{3+}) e hidrogênio (H^+) e baixos níveis de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B) e zinco (Zn). Tais características são limitantes ao crescimento e aprofundamento do sistema radicular e à atividade biológica, afetando tanto o estabelecimento como o desenvolvimento das culturas (Paiva et al., 1996).

Diversos estudos realizados neste bioma comprovam a baixa produtividade das culturas em consequência da carência nutrientes. Dentre os micronutrientes, o Zn se destaca como um dos elementos em maior deficiência nestes solos. Em levantamento sobre a fertilidade do solo no Cerrado, Lopes & Cox (1977) detectaram teores de Zn abaixo de

0,8 mg dm⁻³. Níveis considerados adequados do nutriente no solo variam de 1,0 mg dm⁻³ (Sousa e Lobato, 2002), 1,5 mg dm⁻³ (Alvarez V. et al., 1999), até 2,5 mg dm⁻³ para a cultura da soja no estado do Mato Grosso (Borkert et al., 2002).

Nas plantas, o Zn atua como um cofator funcional, estrutural ou regulador de um grande número de enzimas, atua no metabolismo de carboidratos e está estreitamente envolvido no metabolismo do nitrogênio (Faquin, 2005). Em plantas deficientes, o sintoma mais comum é o encurtamento do internódio, devido principalmente à participação do elemento na síntese do triptofano, precursor do ácido indol acético (Malavolta & kliemann, 1985). O milho e a soja são culturas altamente suscetíveis à deficiência deste nutriente. No milho os sintomas aparecem como listras amarelas nas folhas, raquitismo das plantas e, em casos mais severos há redução da viabilidade dos grãos de pólen e esterelidade masculina. Na soja, é

possível observar plantas raquíticas com folhas de verde a amarelas, clorose internerval e bronzeamento das folhas inferiores (Faquin, 2005).

O avanço da agricultura no Brasil em direção às áreas de cerrado somente foi possível com a efetivação do uso de tecnologias ligadas à correção da acidez e ao fornecimento de elementos essenciais às plantas dentre eles, o Zn. São vários os trabalhos que mostram a importância da adubação com Zn no incremento de produtividade de diversas culturas (Galvão & Mesquita Filho 1981; Galvão, 1994; Embrapa, 1996; Oriole Júnior et al., 2008; Inocêncio et al, 2012).

Esta adubação para as culturas anuais pode ser realizada principalmente via solo, adubação foliar e via semente. No entanto, com o aumento dos teores de Zn no solo ao longo dos anos, as aplicações do nutriente tornaram-se, em alguns casos, desnecessárias. Ao avaliarem 119 lavouras de soja no Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, com rendimentos de grãos entre 1.950 a

5.529 kg ha⁻¹, Staut et al., (1999) não encontraram limitações relacionadas à deficiência de Zn no solo. Neste caso, a adubação com Zn contribuiu somente para aumentar os custos de produção, sem, no entanto, gerar respostas concretas quanto à produtividade da lavoura.

Nos últimos anos, estudos foram desenvolvidos com a utilização de produtos biorreguladores do crescimento vegetal em culturas como o milho, a soja, o arroz e o feijão (Vieira 2001; Vieira & Castro 2001, 2003; Fancelli, 2007, 2008 e 2011; Bertolin et al, 2010). Estes produtos são compostos de hormônios vegetais responsáveis por uma gama de processos de desenvolvimento das plantas. A auxina participa do processo de dominância apical, crescimento das plantas e expansão celular. As citocininas são ligadas à senescência foliar, mobilização de nutrientes, à dominância apical, formação e atividade dos meristemas apicais e desenvolvimento floral. As

giberelinas estão associadas à promoção do crescimento caulinar (Taiz & Zeiger, 2004).

A utilização eficiente de insumos fertilizantes em lavouras comerciais vem adquirindo importância crescente, principalmente devido aos altos custos envolvidos na produção agrícola, à grande oferta de novos produtos destinados à nutrição vegetal e ao risco ambiental decorrente do uso desordenado de nutrientes e substâncias químicas diversas nos agroecossistemas.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a resposta do milho e da soja a diferentes práticas de complementação nutricional com Zn e uso de biorreguladores, estabelecendo um comparativo da eficiência técnica e econômica dos tratamentos utilizados, num solo com disponibilidade inicial de Zn acima do nível crítico.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Sistemas intensivos de produção de grãos em plantio direto

Os sistemas intensivos de produção de grãos no Brasil têm sido caracterizados pelo uso de altas doses de fertilizantes e defensivos agrícolas, além de mecanização intensa, visando ao aumento contínuo da produtividade das culturas. Com o aumento da eficiência operacional é possível produzir duas ou mais safras por ano. A adoção de manejo mais conservacionista, como o sistema de plantio direto, minimizou os impactos negativos até então prevaletentes no modelo agrícola convencional. O plantio direto é uma realidade brasileira, tendo ocupado na safra 2011/12, área aproximada de 30 milhões de hectares, cerca de 8 milhões de hectares localizados no Cerrado (FBPDP, 2013).

O cultivo em plantio direto tem como objetivo o mínimo revolvimento do solo para deposição de sementes e fundamenta-se na sequência e rotação de

culturas, formação de uma camada protetora de palha na superfície da terra e melhoria das propriedades físico-hídricas, químicas e biológicas do solo, buscando maior eficiência na ciclagem de nutrientes (Calegari, 2006; Dalmago et al., 2009; Nunes et al., 2011).

A eliminação de práticas de revolvimento do solo, como aração e gradagem, contribui para maior acúmulo de matéria orgânica na superfície do solo, conseqüentemente maior reserva e fornecimento de nutrientes às plantas, aumento da atividade biológica, redução das perdas de solo por erosão e maior flexibilidade na época de semeadura e colheita (Kluthcouski et al., 2000). Com isso, melhora-se a estrutura do solo, proporcionando um adequado balanço de macro e microporos, maior suprimento de água, oxigênio e nutrientes às raízes (Tormena et al., 1999).

Carvalho et al. (2004) verificou que o rendimento da cultura da soja cultivada em sistema plantio direto foi superior ao rendimento obtido em plantio convencional. Os autores relatam que o sistema plantio direto, associado a cultivos em sucessão, favorece a manutenção do equilíbrio dos nutrientes no solo, contribuindo para elevação da sua fertilidade, além de maximizar a eficiência de utilização insumos. Dentre as principais culturas, a soja é uma das que melhor se adaptam ao sistema de plantio direto (Kluthcouski et al., 2000).

Os resultados de produtividade de grãos de milho quando a cultura é submetida a diferentes tipos de manejo do solo apresentam grande variabilidade. Carvalho et al., (2004) observaram um aumento 18,5% na produtividade do milho em sucessão à crotalária cultivada na primavera comparada à área de pousio tanto em plantio direto quanto no sistema de preparo convencional do solo. Maior produtividade do milho

em plantio convencional foi observada em ano com ocorrência de veranico.

Hernani (1997) ao avaliar a produtividade de milho num Latossolo roxo argiloso cultivado com a sucessão soja/aveia-preta por seis anos consecutivos e após com nabo forrageiro/milho, em diferentes sistemas de preparo do solo, observou que o milho no sistema de plantio direto apresentou rendimento de grãos 28% superior ao sistema de preparo do solo com grades.

Assim, com o intuito da obtenção de produtividades elevadas, o atual modelo de produção de grãos sob plantio direto apoia-se, sobretudo, no planejamento antecipado e na boa gestão do negócio, buscando a combinação da sucessão de colheitas e sistemas de cultivos em períodos longos, contribuindo para a construção da fertilidade do solo e o aumento dos teores de matéria orgânica ao longo do perfil. Neste contexto, considera-se também o uso de material

genético de grande potencial de produção, adubações bem equilibradas de macro e micronutrientes, adequada distribuição espacial de plantas, controle efetivo de pragas, doenças e plantas daninhas, florescimento sem estresse significativo e longa duração de área foliar (Fancelli & Dourado Neto, 2009; Holanda et al., 2011; Resende et al., 2012)

2.2 Tecnologias de manejo nutricional associadas a sistemas de alta produtividade

Nos sistemas de alta produtividade, o emprego de tecnologias no manejo nutricional das culturas é essencial à produção de grãos no Cerrado. Se por um lado os solos desta região apresentam boas propriedades físicas e topografia favorável à mecanização, por outro, apresentam originalmente teores extremamente baixos de nutrientes e elevada acidez, fatores limitantes ao crescimento e aprofundamento do sistema radicular e à atividade biológica, afetando tanto o estabelecimento como o

desenvolvimento das culturas (Sousa et al., 2007). A correção da acidez e a adubação corretiva com fósforo, potássio, micronutrientes e inoculação de espécies leguminosas com rizóbio são tecnologias essenciais ao manejo nutricional das culturas nestes solos (Lopes & Guilherme, 1994).

Em razão da baixa solubilidade e mobilidade do calcário no perfil do solo, é necessário, antes de adotar o sistema de plantio direto, realizar a incorporação deste corretivo através de operações de aração e gradagem. Para correção dos teores de fósforo, potássio e micronutrientes recomenda-se proceder da mesma forma, no sentido de estabelecer um ambiente mais fértil ao longo do perfil, favorecendo o crescimento radicular em profundidade (Alleoni et al., 2005; Costa & Rosolem, 2007; Souza et al., 2007; Fancelli 2011; Resende et al., 2012).

Em áreas há vários anos sob plantio direto é possível observar um gradual incremento da

capacidade produtiva do solo, ocasionado principalmente pelo acúmulo de nutrientes devido ao efeito residual de adubações anteriores e pelo aumento no teor de matéria orgânica (Rosolem et al., 2012). Portanto, a quantidade de fertilizantes a serem fornecidos a cada safra deve levar em consideração as peculiaridades do sistema de produção, incluindo a sucessão e a rotação de culturas, o aporte de nutrientes no solo ao longo dos anos advindos principalmente de safras anteriores e da palhada remanescente na superfície do solo, bem como a extração e exportação desses elementos para uma dada produtividade, a fim de evitar custos adicionais e desperdício de insumos.

O avanço dos conhecimentos no manejo dos solos e na nutrição de plantas, nas últimas quatro décadas, contribuiu para o aperfeiçoamento e surgimento de tecnologias que permitiram grande aumento da produtividade de grãos no Brasil. A mistura de fontes de micronutrientes com fertilizantes NPK surgiu como

uma boa alternativa para o agricultor e é uma das formas mais utilizadas de aplicação de micronutrientes na agricultura brasileira (Abreu et al., 2007). As quantidades de micronutrientes exigidas pelas culturas são pequenas, o que dificulta sua aplicação uniforme no campo, dessa forma, os fertilizantes NPK aplicados em grandes quantidades servem como veículo para adicionar os micronutrientes ao solo (Nava et al., 2011).

No entanto, o principal entrave de aplicação destes fertilizantes é a ocorrência de segregação durante a mistura e a aplicação dos grânulos, devido principalmente à diferença de tamanho, forma e densidade de partículas (Mortvedt, 1991; Lopes, 1999; Abreu et al., 2007).

A adubação foliar também se destaca como uma das técnicas mais utilizadas pelos agricultores. Baseia-se na capacidade da parte aérea das plantas em absorver água e o que nela estiver dissolvido (Castro,

2009). No entanto, a natureza do elemento aplicado influi na velocidade de absorção, que, por sua vez, depende da espécie vegetal (Malavolta, 2006). Apesar de bastante difundida, faltam informações a respeito da eficiência das fontes e da resposta das culturas, principalmente em solo que apresenta níveis satisfatórios de nutrientes (Lopes, 1999).

2.3 Uso de micronutrientes - Zinco

A utilização de micronutrientes nas adubações em solos brasileiros é mais recente que o conhecimento da sua importância para agricultura, sendo os primeiros relatos datados do início do desenvolvimento da agricultura na região do Cerrado (Lopes, 1999). Os solos do Cerrado são naturalmente pobres na maioria dos micronutrientes e o cultivo intensivo praticado nessas áreas remove e exporta grandes quantidades desses elementos (Bataglia & Raij, 1989). A deficiência de zinco compreende uma das principais

limitações nutricionais impostas ao cultivo agrícola em solos do Cerrado (Lopes & Cox, 1977; Korndorfer, 1995; Malavolta et al., 1997; Marques et al., 2004; Gonçalves Jr. et al., 2006).

Essa restrição é uma consequência da atuação intensa de processos de intemperismo, os quais contribuíram para reduzir teores totais desses micronutrientes, particularmente do zinco que, em solos de Cerrado apresentam valores equivalentes à metade do valor da média mundial (Marques et al., 2004). As deficiências de Zn ocorrem em uma ampla variedade de solos e são agravadas em condições de cultivos intensivos. Em solos mais argilosos, existe tendência de maiores concentrações de zinco total devido aos processos de adsorção do nutriente com minerais de argila, óxido de ferro e manganês e matéria orgânica (Almeida Júnior et al., 2007; Alloway, 2008).

O zinco que está disponível para as plantas é aquele presente na solução do solo, ou que é adsorvido

de forma instável. A disponibilidade de zinco no solo é afetada principalmente pelo pH, teor de matéria orgânica, teor de argila, teor de carbonato de cálcio, condições redox, atividade microbiana na rizosfera, condições de umidade do solo e concentração de fósforo no solo (Okazaki et al., 1986; Nascimento, 2004; Alloway, 2008; Valladares et al., 2009). Em condições naturais, os maiores percentuais do zinco estão associados às frações orgânicas e inorgânicas, podendo ser retidos em ligações eletrostáticas ou covalentes (Giroto et al., 2010).

O zinco disponível na solução do solo é absorvido, principalmente na forma iônica Zn^{2+} e, à medida que esses íons são absorvidos, há um decréscimo na concentração do nutriente na solução do solo. Essa concentração tende a ser equilibrada a partir da decomposição de matéria orgânica ou através adição do nutriente, na forma de fertilizante (Gonçalves Júnior et al., 2007).

Os produtos mais utilizados como fontes de zinco pela agricultura são classificados como compostos naturais orgânicos, inorgânicos e quelatos sintéticos. As fontes orgânicas de zinco constituem subprodutos obtidos através fabricação de papel e celulose. Das fontes inorgânicas, o sulfato de zinco é mundialmente o mais utilizado e sua maior importância está relacionada à sua elevada solubilidade (Prado et al., 2007). Dentre os quelatos, o zinco EDTA destaca-se como um dos mais utilizados e sua aplicação na agricultura possui elevada aceitação, devido a alta estabilidade da molécula e possibilidade de mistura com solução de fertilizantes concentradas (Alloway, 2008).

O fornecimento de zinco para as plantas deve ser feito utilizando fontes com solubilidade mínima entre 40 a 50% (Amrani et al., 1997). De acordo com Westfall et al. (2000), o sulfato de zinco (98% solúvel) apresentou elevada eficiência no fornecimento do nutriente para a cultura do milho.

A adubação com zinco pode ser realizada via tratamento de sementes, solo e aplicação foliar. O método de aplicação, a solubilidade, a forma física das fontes de zinco e certas condições de solos podem interagir de modo a resultar em maior ou menor eficiência na adubação de correção ou de manutenção (Vitti et al., 2011).

A adubação foliar com Zn atua na diminuição ou correção de carências nutricionais da planta. Os produtos pulverizados são absorvidos através da superfície foliar, gerando uma resposta mais rápida ao tratamento. Entretanto, é de se esperar que em áreas que apresentem um bom manejo da adubação via solo e plantio direto bem estabelecido sejam menos prováveis os ganhos de produtividade oriundos de aplicações foliares diversas.

A aplicação de zinco na semente baseia-se no princípio de que a reserva desse micronutriente na semente pode ser uma importante fonte na prevenção

do aparecimento de sintomas iniciais de deficiência nas plantas. Em estudo realizado Muraoka (1981), observou-se que mais de 50% do zinco aplicado via tratamento de semente foi translocado para a parte aérea, trinta dias após emergência da soja. Resultados semelhantes também foram encontrados para o milho, na fase inicial de desenvolvimento, demonstrando que o tratamento de sementes aumenta a concentração zinco na planta (Dalmolin, 1992). Quando comparada com outras formas de aplicação, o suprimento de zinco via tratamento de sementes permite uma maior uniformidade de fornecimento do nutriente.

Oriole Júnior et al (2008), avaliando modos de aplicação de zinco na nutrição e produção de trigo, em Latossolo Vermelho distrófico, verificaram que a aplicação foliar proporcionou um aumento teor do nutriente na parte aérea, embora a produção de matéria seca das plantas não tenha sido influenciada pelos diferentes modos de aplicação. Em estudos de Galvão

(1994), a aplicação $1,2 \text{ kg ha}^{-1}$ de zinco a lanço, na forma de sulfato, proporcionou aumento no rendimento de grãos de milho. Por outro lado, os teores foliares mais elevados foram verificados nos tratamentos que receberam aplicações foliares. Galvão & Mesquita Filho (1981) avaliando o efeito de micronutrientes na produção de milho em solos do Cerrado com teores naturais de zinco em torno de $0,4 \text{ mg dm}^{-3}$, verificaram que a aplicação de 6 kg ha^{-1} do nutriente, a lanço e incorporado, na forma de sulfato de zinco, proporcionou um aumento de aproximadamente 30% no rendimento da cultura.

As elevadas produtividades obtidas nas lavouras de milho e soja na região do Cerrado comprovam o alto nível tecnológico adotado pelos agricultores, principalmente no que diz respeito à construção da fertilidade do solo e fornecimento de nutrientes às culturas. Neste cenário, o conhecimento do efeito residual de fertilizantes que contém zinco é de

fundamental importância para a definição de doses e intervalos de reaplicação. Ritchey et al., (1986) ao aplicarem 3 kg ha^{-1} de Zn na forma de $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ à lanço no primeiro cultivo, observaram efeito residual por quatro colheitas consecutivas, em Latossolo Vermelho argiloso.

Após uma série de experimentos, Galvão (1986), reportou que a aplicação de 6 kg ha^{-1} de Zn à lanço e incorporado é suficiente para o cultivo de quatro safras, em Latossolo Vermelho escuro argiloso do Cerrado. De acordo com Alvarez V. et al. (1999) o nível crítico de Zn no solo é de $1,5 \text{ mg dm}^{-3}$ pelo extrator Mehlich 1. Para Sousa & Lobato (2002) e Galvão (2004), o nível crítico está entre $1,0$ e $1,6 \text{ mg dm}^{-3}$ pelo mesmo extrator.

Todavia, variações locais destes níveis críticos têm sido detectadas. Borkert et al. (2002) determinaram que o nível adequado para a soja no estado do Mato Grosso deve ser de $2,5 \text{ mg dm}^{-3}$ pelo extrator Mehlich

1. Inocêncio et al. (2012), ao avaliarem a resposta da soja a diferentes estratégias de adubação com Zn em Latossolo Vermelho argiloso de Cerrado, observaram aumento da produtividade de grãos pelo fornecimento do micronutriente, mesmo com teores de Zn (Mehlich 1) no solo acima de 2 mg dm^{-3} .

É importante destacar ainda, que a maioria das pesquisas desenvolvidas com objetivo de estabelecer o nível crítico de Zn no solo foram conduzidas no sistema de preparo convencional, sendo que este tipo de manejo já não representa a realidade da produção de grãos no Cerrado brasileiro. Portanto, faltam informações a respeito da eficiência de formas de aplicação e das fontes de Zn no sistema plantio direto, sobretudo nos solos cultivados intensivamente na região do Cerrado.

2.4 Uso de Biorreguladores

O uso de reguladores vegetais, notadamente o ácido indolacético – AIA, um regulador de crescimento, mostra-se eficiente quando os níveis de Zn no solo encontram-se adequados. O crescimento retardado e a folha pequena são os sintomas mais visíveis da deficiência de Zn e são o resultado dos distúrbios no metabolismo das auxinas, especialmente o AIA (Alloway, 2008).

O desenvolvimento pleno de uma planta depende do equilíbrio nutricional e hormonal. Os fatores ambientais são os principais responsáveis pela mudança hormonal, que por sua vez determinam a expressão genética. Os biorreguladores vegetais são substâncias sintéticas que possuem ações similares aos grupos de reguladores vegetais que ocorrem naturalmente, como a citocinina, giberelina e auxina (Vieira & Castro, 2002). Segundo Taiz e Zeiger (2004), a auxina compreende um hormônio sintetizado nos meristemas apicais e é responsável pelo crescimento

das plantas, já as citocininas são substâncias ligadas, basicamente, à senescência foliar e desenvolvimento floral. Ainda de acordo com estes autores, a giberelina está associada à promoção do crescimento caulinar. Essas substâncias, em baixas concentrações, inibem, promovem ou modificam processos morfológicos e fisiológicos nas plantas (Castro e Vieira, 2001).

Santos & Vieira (2005) ao estudarem doses de biorregulador composto por citocinina e ácido giberélico, em aplicação via sementes na cultura do algodoeiro, observaram a ocorrência de incremento na área foliar, altura e crescimento inicial de plantas. Dario et al. (2005) observaram que aplicação foliar do biorregulador Stimulate® na dose de $0,75 \text{ L ha}^{-1}$, em estágio vegetativo V5-V6 na cultura da soja, proporcionou um incremento de 13% no número de vagens por planta. Resultados semelhantes foram obtidos por Bertolin et al. (2010) ao observarem que a utilização de biorreguladores (0,009% de cinetina,

0,005% de ácido giberélico e 0,005% de ácido indolbutírico), via foliar, proporcionou incremento no número de vagens e um aumento da produtividade de grãos de 37% em relação à testemunha que produziu 2.578 kg ha⁻¹ de grãos de soja. Estes autores afirmaram que, para o aumento da produtividade, os biorreguladores são mais efetivos quando aplicados na fase reprodutiva.

Aragão et al. (2001) observaram que o uso de biorregulador contendo ácido giberélico (100 mg L⁻¹) proporcionou melhor eficiência na germinação, maior índice de velocidade de emergência e melhor emergência final de plântulas de milho doce. Todavia, Ferreira et al. (2007) não observaram incremento de produtividade do milho quando o biorregulador foi aplicado em tratamento de sementes.

O surgimento de novos produtos para fornecimento de nutrientes, hormônios e aminoácidos aumenta a cada ano num ritmo maior do que os

trabalhos de validação científica. Além disso, os resultados de pesquisas realizadas até o momento são bastante contraditórios e mostram que nem sempre há resposta das culturas evidenciando ganhos técnicos ou econômicos que justifiquem ampla utilização desses produtos, de forma indiscriminada.

Neste contexto, este trabalho objetivou avaliar a resposta do milho e da soja a diferentes práticas de complementação nutricional com Zn e uso de biorreguladores, estabelecendo um comparativo da eficiência técnica e econômica dos tratamentos utilizados, num solo com disponibilidade inicial de Zn acima do nível crítico, na região de Sete Lagoas-MG.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Experimento com milho

O estudo foi conduzido no ano agrícola 2010/2011, na Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, MG, situada a 19°27'20,3" S e 44°10'37,6" W, a uma altitude média de 700 m. A área experimental apresenta Latossolo Vermelho distrófico de textura muito argilosa (660 g kg⁻¹ de argila). A área havia sido utilizada na safra anterior (2009/2010) para avaliação de estratégias de fornecimento de Zn na cultura da soja (Inocêncio et al. 2012), sendo as parcelas preservadas para continuidade das avaliações nas safras seguintes.

Antes da instalação do experimento com milho na safra 2010/2011, foi realizada a amostragem de solo para a determinação das condições médias de fertilidade na camada de 0-20 cm de profundidade. A análise de solo de rotina foi realizada conforme metodologias descritas em Silva (1999). Os resultados dessa análise inicial foram: 31,7 g kg⁻¹ de matéria orgânica; pH_{H2O} igual a 5,8; 15 mg dm⁻³ de P (Mehlich-1); 60 mg dm⁻³ de K; 28 mg dm⁻³ de S; 4,7 cmol_c dm⁻³ de Ca; 1,0 cmol_c dm⁻³ de Mg; 0,1 cmol_c dm⁻³ de Al; 4,1 cmol_c dm⁻³ de H+Al; 0,4 mg dm⁻³ de B; 36 mg dm⁻³ de Fe; 43 mg dm⁻³ de Mn; 1,1 mg dm⁻³ de Cu; e 2,7 mg dm⁻³ de Zn. Destaca-se o teor médio de Zn disponível pelo extrator Mehlich 1, acima dos níveis críticos entre 1,0 e 1,5 mg dm⁻³ sugeridos por Alvarez V. et al. (1999) e por Galvão (2004).

O experimento foi instalado em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. As parcelas corresponderam a oito

linhas de milho com 6,0 m de comprimento e 0,5 m espaçadas entre si (24 m²). Nas avaliações do experimento, foi considerada uma área útil central de 8 m² (quatro linhas de 4,0 m de comprimento).

Os tratamentos foram constituídos por diferentes produtos comercializados para a cultura do milho como fontes de Zn ou biorreguladores hormonais (Tabela 1). Cada produto foi utilizado de acordo com as indicações de doses e épocas de aplicação informadas pelo fabricante. Conforme o produto, a aplicação foi realizada no solo, em pulverização foliar ou na semente. Um tratamento controle (T1) e um tratamento com aplicação de água pura via foliar (T12), com manejo convencional da adubação, porém sem fornecimento de Zn ou uso de biorreguladores, foram definidos como referências para comparações.

O tratamento T10 foi utilizado a fim de permitir discriminar eventual confundimento de efeitos do tratamento T9 como fonte de Zn, uma vez que os produtos em questão apresentam-se na forma de fosfitos, que possuem também ação protetora de plantas contra doenças. O tratamento T13 foi incluído com objetivo de se detectar eventuais benefícios do fornecimento de hormônios vegetais relacionados à nutrição vegetal e ao metabolismo do Zn, como é o caso da auxina presente no produto utilizado.

Tabela 1 Descrição dos tratamentos de complementação nutricional com zinco e uso de biorreguladores na cultura do milho (safra 2010/11). Sete Lagoas, MG

Tratamento	Zn aplicado (kg ha ⁻¹)	Descrição	Composição
T1	0,0	Controle	-
T2	RAC	Residual da adubação corretiva (RAC) à lanço ano agrícola 2009/10 (3 kg ha ⁻¹ de Zn)	ZnSO ₄ com 20% de Zn e 9% de S
T3	RAC + 1,2	AC + NPK 04-30-16 + 0,3% Zn (400 kg ha ⁻¹ na semeadura)	ZnSO ₄ com 20% de Zn e 9% de S + 0,3% de Zn no formulado NPK
T4	1,2	NPK 04-30-16 + 0,3% Zn (400 kg ha ⁻¹) na semeadura	0,3% de Zn no formulado NPK
T5	0,45	Broadacre Zn Moli® via foliar em V4 (0,75 L ha ⁻¹)	60% de Zn e 6% de Mo
T6	0,4	ZnSO ₄ via foliar em V4 (2 kg ha ⁻¹)	20% de Zn e 9% de S
T7	0,056	Tradecorp® Zn-EDTA via foliar em V4 (0,4 kg ha ⁻¹)	14% de Zn
T8	0,144	Znitro® via foliar em V4 (0,7 L ha ⁻¹)	15% de Zn e 10% de N
T9	0,3	Phytogard Zn® via foliar em V8 (2,0 L ha ⁻¹)	10% de Zn e 40% de P ₂ O ₅
T10	0,0	Phytogard K® via foliar em V8 (2,0 L ha ⁻¹)	20% de K ₂ O e 40% de P ₂ O ₅
T11	0,015	Biozyme TF® via foliar em V8 (0,5 L ha ⁻¹)	2,43% de Zn; 1,73% de N; 5% de K ₂ O; 0,08% de B; 0,49% de Fe; 1% de Mn; e 2,1% de S; 3,5%

			carbono orgânico
T12	0	Água pura via foliar em V4 e V8	-
T13	0	Stimulate® via tratamento de semente (0,5 L ha ⁻¹)	0,009% de cinetina, 0,005% de ácido giberélico e 0,005% de ácido indolbutírico

¹ Excetuando-se os tratamentos T3 e T4, todos os demais receberam adubação de base com 400 kg ha⁻¹ do formulado NPK 04-30-16 sem Zn.

Foi utilizado o híbrido simples convencional AG 7088. As sementes foram tratadas com inseticidas a base de imidacloprido (150 g L⁻¹) e tiodicarbe (450 g L⁻¹). Os sulcos foram abertos com sulcador mecânico e o fertilizante NPK 04-30-16, com ou sem Zn conforme o tratamento (Tabela 1), foi aplicado manualmente no fundo dos sulcos, na dose de 400 kg ha⁻¹. A semeadura foi realizada manualmente no dia 07/10/2010, colocando-se duas sementes a cada 0,3 m, com posterior desbaste de uma planta. A adubação de cobertura foi feita quando as plantas de milho se encontravam no estágio V4, utilizando-se uréia em quantidade equivalente a 134 kg ha⁻¹ de N, sendo distribuída superficialmente em filete ao lado da linha de plantas. Para as aplicações foliares referentes a parte

dos tratamentos (Tabela 1), utilizou-se um pulverizador costal pressurizado a CO_2 , com barra de seis bicos e volume de calda equivalente a 400 L ha^{-1} .

Procedimentos específicos ao controle de plantas daninhas e insetos foram adotados, quando necessário, com o uso de herbicidas e inseticidas recomendados para a cultura, a qual também recebeu irrigação, de forma a não ocorrer déficit hídrico.

As amostragens de solo para análise de fertilidade e coleta de folhas para determinação dos teores de nutrientes foram realizadas aos 73 dias após a semeadura, no aparecimento da inflorescência feminina. Nas amostragens de solo, coletaram-se cinco amostras simples nas linhas e cinco nas entrelinhas centrais da parcela, formando uma amostra composta para cada posição de coleta, na profundidade de 0 a 20 cm. Nas amostragens de folhas, coletou-se a folha oposta e abaixo da espiga principal, num total de 10 folhas na área útil de cada parcela, as quais foram secas

em estufa de circulação forçada de ar. As análises de solo foram realizadas conforme métodos descritos por Silva (1999). As análises químicas para determinação dos teores totais de nutrientes em tecidos vegetais foram realizadas conforme métodos descritos por Malavolta et al. (1997).

Após a maturidade fisiológica da cultura, 135 dias após a semeadura, foi realizada a contagem de plantas e colheita manual das espigas na área útil das parcelas. A população final foi de cerca de 60.000 plantas ha⁻¹. Posteriormente, as espigas foram secas ao ar livre e debulhadas para determinação da produtividade de grãos, com correção da umidade para 13%. O conteúdo de Zn exportado via colheita foi obtido multiplicando-se os valores de produtividade pelo teor do micronutriente nos grãos de milho de cada tratamento.

3.2 Experimento com soja

O estudo foi conduzido no ano agrícola 2011/2012, nas mesmas parcelas do experimento com milho na safra anterior.

As parcelas corresponderam a oito linhas de soja com 6,0 m de comprimento e 0,5 m espaçadas entre si (24 m²). Nas avaliações do experimento, foi considerada uma área útil central de 8 m² (quatro linhas de 4 m de comprimento). O experimento foi instalado em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições.

Os tratamentos foram os mesmos utilizados para a cultura do milho na safra anterior, com as devidas adequações de doses e épocas de aplicação (Tabela 2). Cada produto foi utilizado segundo as indicações de doses e épocas do fabricante. Conforme o produto, a aplicação foi realizada no solo ou em pulverização foliar. Um tratamento controle e um tratamento com aplicação de água pura via foliar, com manejo convencional da adubação, porém sem fornecimento de

Zn ou uso de biorreguladores, foram definidos como referências para comparações.

O tratamento T10 foi utilizado a fim de permitir discriminar eventual confundimento de efeitos do tratamento T9 como fonte de Zn, uma vez que os produtos em questão apresentam-se na forma de fosfitos, que possuem também ação protetora de plantas contra doenças. O tratamento T13 foi incluído com objetivo de se detectar eventuais benefícios do fornecimento de hormônios vegetais relacionados à nutrição vegetal e ao metabolismo do Zn, como é o caso da auxina presente no produto utilizado.

Tabela 2 Descrição dos tratamentos de complementação nutricional com zinco e uso de biorreguladores na cultura da soja (safra 2011/12). Sete Lagoas, MG

Tratamento	Zn aplicado (kg ha ⁻¹)	Descrição	Composição
T1	0,0	Testemunha	-
T2	3,0	Adubação corretiva (AC), ZnSO ₄ à lanço (3 kg ha ⁻¹)	ZnSO ₄ com 20% de Zn e 9% de S
T3	3,0 + 1,65	AC + 412 kg ha ⁻¹ NPK 02-20-20 + 0,4% Zn (412 kg ha ⁻¹ na semeadura)	ZnSO ₄ com 20% de Zn e 9% de S + 0,4% de Zn no formulado NPK
T4	1,65	NPK 02-20-20 + 0,4% Zn (412 kg ha ⁻¹) na semeadura	0,4% de Zn no formulado NPK
T5	0,27	Broadacre Zn Moli® via foliar em V4 (0,45 L ha ⁻¹)	60% de Zn e 6% de Mo
T6	0,8	ZnSO ₄ via foliar em V4 e V8 (2 kg ha ⁻¹)	20% de Zn e 9% de S
T7	0,056	Tradecorp® Zn-EDTA via foliar em V4 (0,4 kg ha ⁻¹)	14% de Zn
T8	0,1	Znitro® via foliar em V4 (0,5 L ha ⁻¹)	15% de Zn e 10% de N
T9	0,6	Phytogard Zn® via foliar em V4 e V8 (2,0 L ha ⁻¹)	10% de Zn e 40% de P ₂ O ₅
T10	0,0	Phytogard K® via foliar em V4 e V8 (2,0 L ha ⁻¹)	20% de K ₂ O e 40% de P ₂ O ₅
T11	0,015	Biozyme TF®, via foliar em V4 e V8 (0,25 L ha ⁻¹)	2,43% de Zn; 1,73% de N; 5% de K ₂ O; 0,08% de B; 0,49% de Fe; 1% de Mn; e 2,1% de S; 3,5% carbono orgânico
T12	0,0	Água pura via foliar em V4 e V8	-
T13	0	Stimulate® via foliar em V4 (0,5 L ha ⁻¹)	0,009% de cinetina, 0,005% de ácido giberélico e 0,005% de ácido indolbutírico

¹Excetuando-se os tratamentos T3 e T4, todos os demais receberam adubação de base com 412 kg ha⁻¹ do formulado NPK 02-20-20 sem Zn.

Por ocasião da semeadura, foram realizadas aplicações extras de potássio (160 kg ha⁻¹ de KCl),

boro ($3,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de ácido bórico), calcário (833 kg ha^{-1} de calcário dolomítico PRNT 100%) e gesso (300 kg ha^{-1} de gesso agrícola). Esses adubos e corretivos foram distribuídos manualmente a lanço, na superfície de todas as parcelas do experimento.

Em 14/10/2011 foi semeada a cultivar de soja transgênica Pioneer 98Y30 RR, sendo as sementes tratadas com inoculante e inseticidas a base de imidacloprido (150 g L^{-1}) e tiodicarbe (450 g L^{-1}). A adubação básica foi de 412 kg ha^{-1} da fórmula NPK 02-20-20, com ou sem Zn conforme o tratamento (Tabela 2), no sulco de semeadura. Os tratamentos T2 e T3 receberam nova aplicação de Zn como adubação corretiva a lanço, visando obter maior contraste na quantidade fornecida do micronutriente em relação aos demais tratamentos. Para as aplicações foliares utilizou-se um pulverizador costal pressurizado a CO_2 , com barra de quatro bicos e volume de calda equivalente a 400 L ha^{-1} .

A amostragem de folhas para determinação dos teores de nutrientes foi realizada aos 69 dias após a semeadura, no florescimento pleno da cultura. Coletou-se a terceira folha com pecíolo a partir do ápice da haste principal, num total de 15 folhas na área útil de cada parcela, as quais foram secas em estufa de circulação forçada de ar. Uma amostragem de solo para análise de fertilidade foi realizada após a colheita da soja, coletando-se cinco amostras simples nas linhas e cinco nas entrelinhas centrais da parcela, formando uma amostra composta para cada posição de coleta, na profundidade de 0 a 20 cm. As análises de solo foram realizadas conforme métodos descritos por Silva (1999). Os teores totais de nutrientes em tecidos vegetais foram determinados segundo metodologias descritas por Malavolta et al. (1997).

Após a maturidade fisiológica da cultura, 146 dias após a semeadura, foi realizada a colheita mecanizada com colhedora de parcelas. A população

final estimada foi de cerca de 200.000 plantas ha⁻¹. A produtividade de grãos foi determinada corrigindo-se a umidade para 13%. O conteúdo de Zn exportado via colheita foi obtido multiplicando-se os valores de produtividade pelo teor do micronutriente nos grãos de soja em cada tratamento.

3.3 Análises estatísticas

Os dados referentes ao teor de Zn nas folhas e nos grãos, produtividade de grãos e Zn exportado nas colheitas de milho e soja foram submetidos a análises de variância. As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, com auxílio do programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2011).

3.4 Avaliação econômica

Para a realização da análise econômica foram determinadas as receitas e os custos adicionais

referentes a cada tratamento, considerando o preço médio dos insumos nas regiões do Triângulo Mineiro, Sul e Central de Minas Gerais, em maio de 2013 (Tabela 3). Calculou-se a diferença de produtividade proporcionada pelo uso dos respectivos insumos em relação ao tratamento controle T1. A receita associada a cada tratamento foi obtida multiplicando-se o diferencial de produtividade pela cotação da saca de 60 kg de milho (US\$ 12,89 saca⁻¹) ou de soja (US\$ 29,10 saca⁻¹) em maio de 2013, considerando o dólar americano cotado a R\$ 2,03 (Cepea, 2013). A rentabilidade foi obtida pela diferença entre receita e custo.

O custo dos demais fatores de produção foram considerados constantes para todos os tratamentos. Não foram levados em conta os custos de aplicação dos produtos avaliados, uma vez que é comum o agricultor associar o uso de tais produtos às operações rotineiras

de adubação, tratamento de sementes ou tratamento fitossanitário.

Tabela 3 Valores de referência para a avaliação econômica dos tratamentos para complementação nutricional com Zn e uso de biorreguladores nas culturas de milho e soja. Sete Lagoas, MG

Insumo	Unidade	Tratamento correspondente	Preço (R\$)	Dosagem aplicada por hectare		Custo do produto por hectare (R\$)	
				Milho	Soja	Milho	Soja
NPK 04-30-16	t	Todos exceto T3 e T4	1.285,00	0,4	-	514,00	-
NPK 04-30-16 + 0,3%Zn	t	T3 e T4	1.378,00	0,4	-	551,20	-
NPK 02-20-20	t	Todos exceto T3 e T4	1.150,00	-	0,412	-	473,80
NPK 02-20-20 + 0,4% Zn	t	T3 e T4	1.235,00	-	0,412	-	508,82
ZnSO ₄ adubação corretiva	t	T2 e T3	2.000,00	-	0,015	-	30,00
ZnSO ₄ adubação foliar	t	T6	2.000,00	0,02	0,04	4,00	8,00
Broadacre Zn [®]	L	T5	130,00	0,75	0,45	97,50	58,50
Tradecorp Zn [®]	kg	T7	50,00	0,4	0,4	20,00	20,00
Znitro [®]	L	T8	12,00	0,7	0,5	8,40	6,00
Phytogard Zn [®]	L	T9	12,50	2	4	25,00	50,00
Phytogard K [®]	L	T10	15,50	2	4	31,00	62,00
Biozyme [®]	L	T11	100,00	0,5	0,25	50,00	25,00
Stimulate [®]	L	T13	105,00	0,5	0,5	52,50	52,50

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Cultura do milho (safra 2010/11)

Houve diferença significativa entre os tratamentos em relação aos teores médios de Zn no solo quando a amostragem foi realizada na linha de plantio, na camada de 0-20 cm de profundidade (Tabela 4). Os teores de 10,4; 9,9 e 9,8 mg dm⁻³ observados nos tratamentos T3, T4 e T11 respectivamente, foram consideravelmente superiores aos demais. Para o tratamento T3 foi aplicado 3,0 kg ha⁻¹ de Zn no ano agrícola 2009/10 seguida de novas aplicações do nutriente com o formulado NPK no sulco de plantio a cada cultivo. No cultivo do milho (safra 2010/11) foi aplicado 1,2 kg ha⁻¹ de Zn nos tratamentos T3 e T4. O elevado teor de Zn na linha de plantio do tratamento T11 não era esperado, visto que se utilizou o formulado NPK sem o micronutriente.

Os teores mais altos de Zn na linha de plantio poderiam ser explicados pelo fornecimento do

nutriente via formulado NPK de modo localizado no próprio sulco (T3 e T4) em cada cultivo e pelo elevado efeito residual da adubação corretiva com o micronutriente (T3). A aplicação de $3,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de Zn na safra anterior de soja, associado ao fornecimento do nutriente no sulco de plantio, manteve o seu teor no solo um pouco mais elevado no tratamento T3. Como o Zn é um micronutriente que se movimenta por difusão, espera-se que os maiores teores do nutriente estejam acumulados muito próximos do ponto de aplicação, principalmente em sistemas que não realizam o revolvimento do solo (Abreu et al., 2007).

Todos os tratamentos, incluindo o controle, apresentaram teores de Zn no solo acima dos níveis críticos de $1,0$ a $1,5 \text{ mg dm}^{-3}$ (Alvarez V et al. 1999; Galvão, 2004), tanto na linha de plantio quanto na entrelinha (Tabela 4), resultado do efeito residual de adubações realizadas na área anteriormente à instalação do experimento. É bem documentado na literatura o

expressivo efeito residual das adubações com Zn em solos do Cerrado. Galvão (1984), após aplicação de 6 kg ha⁻¹ de Zn a lanço apenas no primeiro cultivo em Latossolo Vermelho escuro argiloso, observou efeito residual durante seis cultivos da seqüência: arroz, arroz, milho, soja, milho e milho. Ritchey et al., (1986) no mesmo tipo de solo, com baixos teores de Zn, observaram que a dose de 3 kg ha⁻¹ do nutriente foi suficiente para manter as produções próximas ao máximo, por pelo menos quatro anos consecutivos.

Para os teores de Zn na entrelinha não houve diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 4). Deve-se notar que mesmo os tratamentos que receberam formulado NPK sem adição de Zn tenderam a apresentar teores do nutriente na linha de plantio mais elevados do que nas entrelinhas. É possível que pequenas quantidades de Zn presente como contaminante no NPK sejam a causa dessa diferença.

Alcarde & Vale (2003) ao avaliaram a solubilidade dos micronutrientes presentes em formulações NPK comerciais, observaram que 20% dos fertilizantes testados continham Zn na formulação sem constar na garantia do fabricante. Na maioria destas amostras os teores de Zn apresentaram-se muito baixos, o que os autores consideraram como contaminações.

Cabe destacar o elevado coeficiente de variação (61%) observado para os teores de Zn na linha de plantio, o que reforça a dificuldade de se caracterizar a disponibilidade desse micronutriente com os procedimentos de amostragem e análise laboratorial comumente utilizados. O uso do extrator Mehlich 1 pode não discriminar o efeito o pH do solo na disponibilidade de Zn, situação já observada por Bataglia & Raij (1994) e Abreu & Raij (1996). Quantificar o Zn disponível em solos que receberam calagem através de extratores ácidos, como é o caso de Mehlich 1, pode acarretar em valores superestimados

do micronutriente devido principalmente à extração de formas mais estáveis do elemento, como o Zn ligado aos hidróxidos e carbonatos, que não estariam disponíveis às plantas (Abreu et al., 2007; Accioly et al., 2004).

Tabela 4 Descrição dos tratamentos com zinco, atributos do solo, teores de zinco no solo (Mehlich-1), nas folhas e nos grãos, produtividade de grãos, quantidade de zinco exportada na colheita do milho, custo e rentabilidade dos tratamentos

	Zn Aplicado	pH H ₂ O		Saturação por bases (%)		Zn no solo (mg dm-3)		Zn na planta (mg kg ⁻¹)		Produtividade de grãos	Zn exportado	Custo adicional do tratamento	Diferencial de Produtividade ²	Rentabilidade do tratamento
Trat.	kg ha ⁻¹	Linha	Entrelinha	Linha	Entrelinha	Linha	Entrelinha	Folha	Grãos	kg ha ⁻¹	g ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹
T1	-	5,8	5,8	57,2	56,1	3,9 b	1,9 a	23 a	31 a	11062 a	342 a	0	0	0,0
T2	-	5,7	5,7	53,3	53,1	5,3 b	2,8 a	22 a	33 a	10870 a	358 a	0	-192	-83,73
T3	4,2	5,7	5,7	59,6	55,1	10,4 a	2,5 a	23 a	32 a	10745 a	344 a	37,2	-317	-138,24
T4	1,2	5,6	5,7	52,9	51,7	9,9 a	2,0 a	23 a	31 a	10716 a	328 a	37,2	-346	-150,89
T5	0,45	5,7	5,7	56,7	52,8	3,8 b	2,9 a	22 a	30 a	10944 a	326 a	97,5	-118	-51,46
T6	0,8	5,7	5,8	57,3	56,1	4,6 b	3,0 a	24 a	25 a	10902 a	268 a	4,0	-160	-69,77
T7	0,056	5,8	5,9	59,7	60,1	4,0 b	2,4 a	23 a	34 a	11032 a	375 a	20	-30	-13,08
T8	0,105	5,7	5,8	59,2	58,8	4,0 b	2,3 a	26 a	29 a	10855 a	315 a	8,4	-207	-90,27
T9	0,2	5,6	5,7	54,6	56,0	4,7 b	2,4 a	26 a	28 a	11131 a	304 a	25	69	30,09
T10	0	5,7	5,8	58,1	54,6	3,7 b	2,3 a	25 a	29 a	11257 a	330 a	31	195	85,04
T11	0,012	5,7	5,7	57,5	56,2	9,8 a	2,6 a	24 a	32 a	11148 a	359 a	50	86	37,5
T12	0	5,6	5,7	54,5	52,2	3,7 b	2,4 a	24 a	25 a	11152 a	277 a	0	90	39,25
T13	0	5,6	5,9	59,2	61,5	3,5 b	2,3 a	23 a	27 a	10888 a	296 a	52,5	-174	-75,88
CV (%)		3,4	3,3	13,6	10,2	61	25	11	18	6	21			

Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.¹T1=Controle; T2= Residual da adubação corretiva (RAC) à lanço, feita no ano agrícola 2009/10 (3 kg ha⁻¹ de Zn); T3= RAC + NPK 04-30-16 com 0,3% Zn (400 kg ha⁻¹) na semeadura; T4= NPK 02-20-20 com 0,4% Zn (412 kg ha⁻¹) na semeadura; T5= Broadacre Zn Moli® via foliar em V4 (0,75 L ha⁻¹); T6= ZnSO4 via foliar em V4 (2 kg ha⁻¹); T7= Tradecorp® Zn-EDTA via foliar em V4 (0,4 kg ha⁻¹) T8= Znitro® via foliar em V4 (0,7 L ha⁻¹); T9= Phytogard Zn® via

foliar em V8 (2,0 L ha⁻¹); T10= Phytogard K® via foliar em V8 (2,0 L ha⁻¹); T11= Biozyme TF®, via foliar em V8 (0,5 L ha⁻¹); T13= Stimulate® via tratamento de semente (0,5 L ha⁻¹)

²Custo do insumo utilizado como fonte de zinco ou biorregulador no respectivo tratamento.

³Baseado na produtividade média de cada tratamento em relação ao tratamento controle T1.

Tanto os teores foliares de Zn (Tabela 4) quanto dos demais nutrientes (Apêndice A) não foram influenciados pelos diferentes tratamentos aplicados. Os valores entre 15 e 100 mg kg⁻¹ de Zn nas folhas são considerados adequados para se obter altas produtividades na cultura do milho (Bull, 1993; Raij & Cantarella, 1996; Martinez et al., 1999). Com base nessa interpretação, em todos os tratamentos as plantas de milho encontraram-se devidamente nutridas com Zn quando os teores foliares foram avaliados, independente da complementação ou não do fornecimento do nutriente por meio dos produtos utilizados no experimento. Os tratamentos T1, T10, T12 e T13, que não forneceram Zn, mantiveram teores adequados do micronutriente nas folhas. Portanto, é possível inferir que, nas lavouras cultivadas em solos de fertilidade construída, com teores de Zn acima do nível crítico de 1,5 mg dm⁻³ (Alvarez V. et al., 1999; Sousa & Lobato, 2002), há pouca chance de resposta a

aplicações complementares do nutriente. Não obstante, é comum agricultores realizarem tais aplicações em lavouras na mesma condição observada no presente estudo.

Fageria (2000) em experimento com Latossolo Vermelho em casa de vegetação, com teor inicial de Zn de $0,9 \text{ mg dm}^{-3}$ observou que o nível adequado de Zn para propiciar 90% da produção relativa em milho foi de 2 mg dm^{-3} pelo extrator Mehlich 1. Como a maior parte do Zn absorvido é exportado pela colheita dos grãos (Malavolta et al., 1997), com aumento da produtividade das culturas surge a necessidade de reposição do micronutriente. Entretanto, a quantidade de adubo a ser aplicada depende do teor desse nutriente no solo, das condições climáticas e do nível tecnológico adotado pelo agricultor. A observância desses preceitos nem sempre tem sido seguida na prática da adubação com Zn, o que pode levar a

aplicações desnecessárias em lavouras que já estão bem supridas com o micronutriente.

O teor de Zn nos grãos seguiu comportamento semelhante ao dos teores foliares, ou seja, não variaram significativamente entre os tratamentos testados, indicando que, independente do tratamento, os teores de Zn do solo foram suficientes para atender à demanda do nutriente pelas plantas de milho.

Na tabela 4 estão apresentadas as respostas produtivas do milho à complementação nutricional com Zn e uso de biorreguladores, com os respectivos acréscimos de custo, diferenças na produtividade de grãos em relação ao tratamento controle e rentabilidade.

Apesar do coeficiente de variação relativamente baixo dos dados de produtividade de grãos ($CV=5,7\%$), não foi possível discriminar resposta estatisticamente significativa aos tratamentos (Tabela 4). Todavia, em termos absolutos, observa-se variação na resposta da

cultura do milho, cuja diferença chegou a 541 kg ha⁻¹ de grãos, ou seja, 9,0 sacas ha⁻¹ entre os tratamentos de menor e maior produtividade. Tais resultados reforçam a necessidade de se realizarem avaliações ao longo de várias safras, sob condições diversas de solo, sistemas de manejo e clima, a fim de se confirmarem potenciais ganhos decorrentes do uso de novas tecnologias e produtos, que podem ser vantajosos ao agricultor mesmo sem representarem diferenças estatísticas em relação ao manejo tradicional.

A maior produtividade absoluta de grãos foi obtida no tratamento T10, utilizando-se o produto Phytogard K[®]. Este tratamento foi incluído para comparação ao tratamento T9, no qual se aplicou o produto Phytogard Zn[®]. Ambos são classificados como fosfitos, possuem alto grau de solubilidade e mobilidade e são capazes de ativar o mecanismo de defesa das plantas pela produção de fitoalexinas, além de fornecer nutrientes devido à absorção mais rápida de

fósforo pela planta em comparação com outros produtos a base de fosfato (Meneghetti, 2009; Novakowski, 2010). As características de cada produto devem ser observadas ao se compararem as respostas em produtividade, uma vez que a presença de constituintes diversos pode conferir outros efeitos no desenvolvimento da cultura. Deste modo, como atualmente a maioria dos produtos comerciais é de composição mais complexa, agregando vários nutrientes e outros compostos que influenciam a nutrição e vigor das plantas, nem sempre eventuais ganhos de produtividade não podem ser creditados unicamente ao fornecimento de determinado nutriente. Esse pode ser o caso do presente estudo, em que alguma variação absoluta de produtividade entre tratamentos não parece estar diretamente associada ao suprimento de Zn.

Os tratamentos T8, T9, T11 e T12 promoveram incremento na produtividade quando comparados com

o tratamento controle T1. Os demais tratamentos foram menos produtivos (Tabela 4).

O produto do tratamento T11, com efeito biorregulador e fonte de macro e micronutrientes, aplicado via foliar no estágio V8 da cultura do milho, em termos absolutos proporcionou produtividade ligeiramente superior ao tratamento controle, no entanto, produziu menos do que a pulverização de água pura. No caso do tratamento T13, também um produto utilizado na agricultura também como biorregulador, a aplicação via semente resultou em produtividade absoluta inferior ao tratamento controle (Tabela 4).

Os resultados de pesquisa em relação à utilização dos biorreguladores na cultura do milho e às formas de aplicação destes produtos via tratamento de sementes ou foliar ainda são bastante contraditórios. Dourado Neto et al. (2004) observaram maior rendimento de grãos de milho quando o biorregulador foi aplicado no tratamento das sementes em comparação com as

aplicações na linha de semeadura e a pulverização aos 43 dias após semeadura. Resultados divergentes foram obtidos por Ferreira et al., (2007) que não observaram efeito do biorregulador na produtividade de grãos quando o produto foi fornecido via tratamento de sementes. Castro e Kluge (1999) não observaram aumento no rendimento de grãos e na produção de massa seca de plantas de milho quando o biorregulador foi aplicado na fase vegetativa da cultura.

Para a faixa de produtividade de milho expressa no presente estudo (10 a 11 t ha⁻¹) é de se esperar que em áreas que apresentem um bom manejo da adubação via solo e plantio direto bem estabelecido sejam menos prováveis ganhos oriundos de aplicações de produtos como fontes complementares de Zn ou a base de biorreguladores.

Observa-se que, embora sem confirmação estatística houve acréscimo de produtividade de grãos em termos absolutos para o tratamento T10 (195 kg ha⁻¹

¹). O segundo maior acréscimo de produtividade (90 kg ha⁻¹) foi obtido no tratamento T12. Analisando de forma geral os tratamentos, verifica-se que a utilização da maioria dos produtos não foi vantajosa economicamente (Tabela 4).

Dessa forma, observa-se que uso de tecnologias de complementação nutricional com Zn e uso de biorreguladores acarretou em aumento do custo de produção de milho, sendo que na maioria dos tratamentos houve resposta negativa em relação ao controle. No entanto, deve-se ponderar que nas safras em que os preços do grão estão em alta, um pequeno aumento em produtividade pode proporcionar maior remuneração ao agricultor, mesmo com aumento do custo de produção. Para uma tomada de decisão mais acertada na adoção dessas práticas, além de levar em conta variáveis como os custos do insumo e da aplicação, o agricultor deve buscar meios de aferir as

respostas produtivas das culturas nas condições ambientais e de manejo prevalentes na sua propriedade.

4.2 Cultura da soja (safra 2011/12)

Os tratamentos não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre si quanto aos teores de Zn no solo avaliados após o cultivo da soja (0-20 cm de profundidade), tanto na amostragem realizada na linha quanto na entrelinha de plantio (Tabela 5). Os teores do micronutriente em todos os tratamentos mantiveram-se acima do nível crítico de $1,5 \text{ mg dm}^{-3}$ (Alvarez V. et al., 1999; Sousa & Lobato, 2002), com valores variando de 2,8 a $6,9 \text{ mg dm}^{-3}$. Tais valores superam também o nível crítico de $2,5 \text{ mg dm}^{-3}$ indicado para o cultivo da soja em solos do Mato Grosso (Borkert et al., 2002).

A tendência geral observada para os teores de Zn no solo referentes ao cultivo de soja (Tabela 5) não foi a mesma observada no cultivo de milho na safra

2010/11 (Tabela 4). No caso da safra 2011/12, a amostragem foi realizada após a colheita da soja e não se detectou tanta variação de disponibilidade entre tratamentos quanto no cultivo anterior. Também houve menor variação nos teores em função do local de coleta de amostras, na linha de plantio ou entrelinha. Considerando o conjunto de informações das duas safras, comprova-se certa dificuldade em avaliar a disponibilidade de Zn no solo ao longo do tempo com os procedimentos usuais de amostragem a campo e análise química em laboratório.

Os teores de Zn nas folhas de soja foram influenciados significativamente pela aplicação dos tratamentos (Tabela 5). Para os demais nutrientes não houve influência dos tratamentos aplicados (Apêndice C). A aplicação de ZnSO_4 via foliar nos estádios V4 e V8 proporcionou maior teor foliar de Zn (60 mg kg^{-1}). No entanto, esse teor foliar mais elevado não se refletiu em maior teor nos grãos. Neste caso, a baixa

mobilidade de Zn na planta pode ter contribuído para o teor elevado deste nutriente nas folhas (Taiz & Zeiger, 2004). A aplicação de sulfato de zinco tem sido considerada como padrão para a adubação foliar com o nutriente (Alloway, 2008), sendo um dos motivos a sua alta solubilidade em água (965 g L^{-1}).

Mesmo o tratamento controle (T1) apresentou teor foliar de Zn interpretado como adequado (Tabela 5). O teor satisfatório de Zn no tecido foliar na cultura da soja varia entre 21 e 50 mg kg^{-1} (Malavolta, 1997; Embrapa, 2011). Entretanto, em levantamento realizado pela Broch (2008) durante 15 anos de pesquisa e acompanhamento de propriedades rurais em vários municípios do estado de Mato Grosso do Sul, em condições de alta produtividade de soja, observaram-se valores médios de Zn nas folhas em torno de 40 a 60 mg kg^{-1} . Ao avaliar 28 lavouras comerciais de soja cultivadas sob plantio direto na região sul do estado do Mato Grosso do Sul no ano

agrícola 2001/02, Kurihara (2004) também observou teores de Zn acima de 40 mg kg^{-1} .

A colheita dos grãos resultou em exportação de 152 a 181 g ha^{-1} , sendo que os tratamentos mais produtivos exportaram maiores quantidade de Zn (Tabela 5), reforçando a necessidade de maior atenção em repor o micronutriente para os cultivos seguintes quanto maiores os patamares de produtividade alcançados com a cultura. É interessante notar, contudo, que a soja exporta menos Zn comparativamente ao milho, para o qual foram removidos de 277 a 375 g ha^{-1} de Zn com a colheita dos grãos (Tabela 4).

Tabela 5 Descrição dos tratamentos com zinco, atributos do solo, teores de zinco no solo (Mehlich-1), nas folhas e nos grãos, produtividade de grãos, quantidade de zinco exportada na colheita da soja, custo e rentabilidade dos tratamentos

Trat.	Zn Aplicado	pH H ₂ O		Saturação por bases (%)		Zn no solo (mg dm ⁻³)		Zn na planta (mg kg ⁻¹)		Produtividade de grãos	Zn exportado	Custo adicional do tratamento	Diferencial de Produtividade ²	Rentabilidade do tratamento
	kg ha ⁻¹	Linha	Entrelinha	Linha	Entrelinha	Linha	Entrelinha	Folha	Grãos	kg ha ⁻¹	g ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹
T1	0	6,2	6,2	54,3	56,2	3,1 a	2,9 a	28 c	42 a	3841 a	160 a	0	0	0,0
T2	3	6,0	6,1	51,1	51,5	3,8 a	4,4 a	35 c	43 a	3643 a	159 a	30,0	-198	-194,93
T3	4,65	6,0	6,1	54,1	57,5	3,7 a	6,9 a	36 c	44 a	3747 a	163 a	67,20	-94	-92,44
T4	1,65	5,9	6,1	49,2	52,8	4,6 a	4,5 a	34 c	45 a	3943 a	175 a	37,20	102	100,31
T5	0,27	6,1	6,0	52,2	56,4	3,0 a	4,2 a	34 c	40 a	4209 a	171 a	58,5	368	361,92
T6	0,8	6,1	6,1	52,1	56,9	2,8 a	3,6 a	60 a	41 a	4242 a	174 a	8,0	401	394,38
T7	0,056	6,1	6,2	56,9	59,0	3,5 a	4,6 a	36 c	41 a	3998 a	163 a	20,0	157	154,40
T8	0,1	6,2	6,2	57,8	55,9	2,6 a	2,9 a	35 c	40 a	3785 a	152 a	6,0	-56	-55,07
T9	0,6	6,1	6,1	49,2	52,4	4,1 a	3,3 a	50 b	44 a	4029 a	176 a	50,0	188	184,89
T10	0,0	6,1	6,2	54,0	54,6	3,0 a	3,0 a	34 c	44 a	4098 a	181 a	62,0	257	252,75
T11	0,015	5,9	6,0	49,2	53,5	2,7 a	2,8 a	33 c	42 a	4207 a	176 a	25,0	366	359,96
T12	0,0	5,9	6,0	47,1	52,8	2,9 a	3,0 a	32 c	42 a	4041 a	168 a	0	200	196,70
T13	0,0	6,0	6,1	52,7	59,2	4,4 a	4,3 a	34 c	42 a	4283 a	179 a	52,5	442	434,70
CV (%)		3,6	3,0	10	9,9	35	52	13	6	9	10,3			

Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ¹T1=Controle; T2= Adubação corretiva (AC) a lanço, reaplicada no ano agrícola 2011/12 (3 kg ha⁻¹ de Zn); T3= AC + NPK 02-20-20 com 0,4% Zn (412 kg ha⁻¹) na semeadura; T4= NPK 02-20-20 com 0,4% Zn (412 kg ha⁻¹) na semeadura; T5= Broadacre Zn Moli[®] via foliar em V4 (0,45 L ha⁻¹); T5= ZnSO₄ via foliar em V4 e V8 (2 kg ha⁻¹); T6= ZnSO₄ via foliar em V4 e V8 (2 kg ha⁻¹); T7= Tradecorp[®] Zn-EDTA via foliar em V4 (0,4 kg ha⁻¹); T8= Znitro[®] via foliar em V4 (0,5 L ha⁻¹); T9= Phytogard Zn[®] via foliar em V4 e V8 (2,0 L ha⁻¹); T10=

Phytogard K[®] via foliar em V4 e V8 (2,0 L ha⁻¹); T11= Biozyme TF[®], via foliar em V4 e V8 (0,25 L ha⁻¹); T12= Água pura via foliar em V4 e V8; T13= Stimulate[®] via foliar em V4 (0,5 L ha⁻¹)

²Custo do(s) insumo(s) utilizado(s) como fonte de zinco ou biorregulador no respectivo tratamento.

³Baseado na produtividade média de cada tratamento em relação ao tratamento controle T1.

Não houve diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos em relação à produtividade de grãos no cultivo de soja (Tabela 5) e o experimento apresentou boa precisão ($CV=8,9\%$). Todavia, chama atenção a produção absoluta e a variação entre o tratamento mais produtivo (T13 – 4283 kg ha^{-1}) e o que produziu menos (T2 – 3643 kg ha^{-1}), uma diferença expressiva de 640 kg ha^{-1} ou $10,6 \text{ sc ha}^{-1}$. No tratamento T13, foi utilizado produto biorregulador constituído de combinação de compostos dos grupos químicos citocinina, giberelina e auxina. Tal produto é comercialmente indicado para melhorar o enraizamento e incrementar o desenvolvimento vegetal.

Bertolin et al. (2010) trabalhando com o mesmo produto na cultura da soja, observou incremento significativo no número de vagens por planta e produtividade de grãos, sendo que o biorregulador foi mais efetivo quando aplicado na fase reprodutiva R1. Fresoli et al. (2006) observaram incremento na produtividade de soja quando o biorregulador foi aplicado tanto no tratamento de sementes quanto no estágio V5, obtendo produtividade de 3205 kg ha^{-1} para esses tratamentos.

O tratamento T6, com aplicação de sulfato de zinco via foliar nos estádios V4 e V8, que promoveu o maior teor do micronutriente nas folhas, resultou na segunda maior produtividade de soja em valores absolutos. Com exceção dos tratamentos T2, T3 e T8, todos os demais proporcionaram produtividade absoluta superior ao controle. No entanto, apenas os tratamentos T5, T6, T10, T11 e T13 superaram a produtividade do tratamento T12, em que foi aplicado apenas água pura nos estádios V4 e V8. Resultado semelhante foi encontrado por Sfredo et al. (1996) ao estudar o fornecimento de micronutrientes para a soja em três solos do Paraná, onde, na média dos locais, o tratamento com aplicação de água pura promoveu produtividade 19% superior ao controle e foi igual ou superior a outros tratamentos com aplicação de micronutrientes.

Analisando de forma geral os resultados obtidos na safra de soja (Tabela 5), verifica-se uma tendência de retorno econômico para diversas das práticas testadas. A maior margem de ganho foi obtida com o tratamento T6, em que foi aplicado $0,8 \text{ kg ha}^{-1}$ de Zn na forma de sulfato, via foliar em V4 e V8. Neste tratamento houve um ganho de R\$ 394,38 ha^{-1} em relação ao tratamento controle. O baixo custo do sulfato de zinco torna esse resultado interessante na busca de opções para o fornecimento de Zn na cultura da soja. Inocêncio et al., (2012) também observaram respostas da cultura da soja à aplicação sulfato de zinco ($0,8 \text{ kg ha}^{-1}$), com aumento expressivo dos teores foliares do nutriente e incremento de produtividade de grãos, que chegou a 3431 kg ha^{-1} e representou 741 kg ha^{-1} ($12,3 \text{ sc ha}^{-1}$) a mais do que o obtido no tratamento controle.

Para os tratamentos T13, T11 e T5 observaram-se margens de ganho de R\$ 434,70; R\$ 359,96 e R\$ 361,92 respectivamente. O tratamento T10, apesar de maior produtividade de grãos em relação ao tratamento T12, não obteve melhor margem de lucro devido ao custo mais elevado do produto. Nos tratamentos T2, T3 e T8 a adoção de insumos complementares à adubação convencional não trouxe incremento em produção de grãos e, portanto, houve prejuízo econômico na utilização dos respectivos insumos.

Diante do exposto, nota-se certa dificuldade em quantificar os reais benefícios agronômicos da aplicação de tecnologias de complementação nutricional nas culturas da soja e do milho em sistemas já condicionados para obtenção de altos rendimentos de grãos. Vale destacar a postura errônea dos agricultores que fazem uso de insumos diversos para a nutrição das culturas sem a devida aferição dos potenciais ganhos em produtividade, os quais muitas vezes acontecem confundidos ao efeito conjunto das demais práticas utilizadas na condução das lavouras. Na dúvida em relação aos benefícios desses insumos, os agricultores têm optado pela aplicação como forma de segurança, o que muitas vezes apenas aumenta o custo de produção.

4.3 Respostas cumulativas

A avaliação da produção acumulada de grãos e exportação de Zn pela colheita nas duas safras não permitiu detectar diferenças significativas entre os tratamentos testados (Tabela 6). Em termos absolutos, é possível identificar tendências de algum ganho de produtividade associado a determinados tratamentos, como T10 e T11. A aplicação dos produtos relacionados a esses tratamentos proporcionou incrementos de produtividade nas duas safras. Inocêncio et al. (2012) observaram resultado semelhante ao do tratamento T11 (biorregulador e fonte de macro e micronutrientes) na cultura da soja, o qual foi o mais produtivo dentre as práticas de complementação nutricional comparadas na safra 2009/10, na mesma área experimental do presente estudo.

Destaca-se ainda, a produtividade acumulada do tratamento T12, que recebeu apenas a aplicação de água pura via foliar, demonstrando a necessidade por parte do agricultor de melhor avaliação em relação à utilização de tecnologias para complementação nutricional nas lavouras. Por parte da pesquisa, enfatiza-se a necessidade de esforços para validar o uso dessas tecnologias em condições diversas de cultivo.

É possível observar considerável exportação de Zn pela colheita de grãos das culturas, com remoção média de 494 g ha^{-1} ao longo das duas safras avaliadas (Tabela 6). Com a tendência de obtenção de elevadas produtividades de milho e soja nos sistemas de produção mais tecnificados, a necessidade da adubação de restituição de Zn deve ser sempre considerada. O fornecimento do nutriente levando em conta a produtividade alcançada e a correspondente exportação a cada cultivo torna-se um importante componente para assegurar altos rendimentos e estabilidade de produção ao longo dos anos. Nesse contexto, a disponibilidade de Zn no solo ainda deverá constituir o principal balizador na tomada de decisão sobre a necessidade de adubação, visto que muitas das áreas

agrícolas da região do Cerrado já se encontram com teores de Zn bem acima dos níveis críticos indicados na literatura, oportunidade para racionalizar o manejo deste importante micronutriente.

Tabela 6 Produção acumulada de grãos e Zn exportado via colheita em função de tratamentos para complementação nutricional com Zn e uso de biorreguladores nas culturas de milho e soja. Sete Lagoas, MG

Tratamentos	Produção acumulada Milho + Soja ¹ (kg ha ⁻¹)	Exportação acumulada de Zn ¹ (g kg ⁻¹)
T1	14492 a	502 a
T2	14513 a	517 a
T3	14640 a	507 a
T4	14659 a	503 a
T5	14903 a	497 a
T6	15030 a	442 a
T7	15135 a	538 a
T8	15144 a	467 a
T9	15153 a	480 a
T10	15172 a	511 a
T11	15192 a	535 a
T12	15354 a	445 a
T13	15356 a	475 a

Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

¹T1=Controle; T2= Residual da adubação corretiva (RAC) à lanço, feita no ano agrícola 2009/10 (3 kg ha⁻¹ de Zn); T3= RAC + NPK com Zn; T4= NPK com Zn; T5= Broadacre Zn Moli[®] via foliar; T6= ZnSO₄ via foliar; T7= Tradecorp[®] Zn-EDTA via foliar; T8= Znitro[®] via foliar; T9= Phytogard Zn[®] via foliar; T10= Phytogard K[®] via foliar; T11= Biozyme TF[®], via foliar; T12= Água pura via foliar; T13= Stimulate[®] via tratamento de sementes no milho e via foliar na soja

5 CONCLUSÕES

Para os níveis de produtividade de grãos alcançados nos experimentos com milho (média de 11,0 t ha⁻¹) e soja (média de 4,0 t ha⁻¹), as diferentes práticas de complementação nutricional com Zn e uso de biorreguladores proporcionaram produtividades estatisticamente iguais ao tratamento controle.

Ocorreram diferenças de produtividade em termos absolutos, representando ganhos ou perdas econômicas associados à adoção de tais práticas.

REFERÊNCIAS

- ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. C. G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R. F. N. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 645-736.
- ABREU, C. A.; RAIJ, B. van. Efeito da reação do solo no zinco extraído pelas soluções de DTPA e Mehlich-1. **Bragantia**, Campinas, v. 55, n. 2, p. 357-363, 1996.
- ACCIOLY, A. M. A. et al. Amenização do calcário na toxidez de zinco e cádmio para mudas de *Eucalyptus camaldulensis* cultivadas em solo contaminado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 4, p. 775-783, jul./ago. 2004.
- ALCARDE, J. C.; VALE, F. Solubilidade de micronutrientes contidos em formulações de fertilizantes, em extratores químicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 2, p. 363-372, mar./abr. 2003.
- ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A.; CAIRES, E. F. Atributos químicos de um Latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 6, p. 923-934, nov./dez. 2005.
- ALLOWAY, B. J. **Zinc in soils and crop nutrition**. 2nd ed. Brussels: ZINC, 2008. 253 p.
- ALMEIDA JÚNIOR, A. B. et al. Efeito da aplicação de diferentes doses de zinco na produtividade do meloeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais...** Gramado: SBCS, 2007. 1 CD-ROM.
- ALVAREZ, V. H. et al. Interpretação dos resultados de análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ VENEGAS, V. H. (Ed.).

Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. p. 25-32.

AMRANI, M. D. G. **Zinc availability as influenced by zinc fertilizer source and zinc water-solubility.** Fort Collins: Colorado State University, 1997. (CSU Agricultural Experiment Station Technical Bulletin, TB 97-4). Disponível em: <<http://aes.agsci.colostate.edu/publication-policies/technical-bulletin-policies/>>. Acesso em: 10 fev. 2013.

ARAGÃO, C. A. et al. Fitorreguladores na germinação de sementes e no vigor de plântulas de milho super doce. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 23, n. 1, p. 62-67, 2001.

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

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, p. 457-461, 1994.

BERTOLIN, D. C. et al. Aumento da produtividade de soja com aplicação de bioestimulante. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 2, p. 339-347, 2010.

BORKERT, C. M. et al. Calibração de zinco no solo do estado do Mato Grosso. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 24., 2002, São Pedro. **Resumos...** Londrina: EMBRAPA Soja, 2002. p. 126-127. (Documentos, 185).

BROCH, D. L.; RANNO, S. K. **Fertilidade do solo, adubação e nutrição da cultura da soja.** Rondonópolis: Fundação MT, 2008. 39 p. (Tecnologia da Produção: Soja e Milho).

BULL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: BULL, L. T.; CANTARELLA, H. (Ed.). **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade.** Piracicaba: POTAFÓS, 1993. p. 63-145.

CALEGARI, A. Plantas de cobertura. In: CASÃO JÚNIOR, R. C. de et al. (Ed.). **Sistema plantio direto com qualidade**. Londrina: IAPAR, 2006. p. 55-73.

CARVALHO, M. A. C. et al. Soja em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional em solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1141-1148, nov. 2004.

CASTRO, P. R. C. **Princípios da adubação foliar**. Campinas: Fundação Cargill, 2009. 42 p.

CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A. **Ecofisiologia de cultivos anuais**. São Paulo: Nobel, 1999. 126 p.

CASTRO, P. R. C.; VIEIRA, E. L. **Aplicação de reguladores vegetais na agricultura tropical**. Guaíba: Agropecuária, 2001. 132 p.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. **Indicadores de preços de milho e soja Esalq/BM&F Bovespa**. Disponível em: <<http://cepea.esalq.usp.br>>. Acesso em: 21 jun. 2013.

COSTA, A.; ROSOLEM, C. A. Liming in the transition to no till under a wheat soybean rotation. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 97, n. 2, p. 207-217, Dec. 2007.

DALMAGO, G. A. et al. Retenção e disponibilidade de água às plantas, em solo sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 855-864, 2009. Suplemento.

DALMOLIN, R. S. D. **Fontes de zinco aplicadas nas sementes de milho cultivado em solução nutritiva com diferentes doses de zinco**. 1992. 84 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1992.

DARIO, G. J. A. et al. Influência do uso de fitorregulador no crescimento da soja. **Revista da FZVA**, Uruguaiana, v. 12, n. 1, p. 63-70, 2005.

DOURADO NETO, D. et al. Aplicação e influência do fitorregulador no crescimento das plantas de milho. **Revista da FZVA**, Uruguaiana, v. 11, n. 1, p. 1-9, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA.
Recomendações técnicas para a cultura da soja no Paraná 1996/97.
Londrina, 1996. 187 p. (EMBRAPA-Soja. Documentos, 97).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologia de produção de soja região central do Brasil.** Londrina, 2011. 261 p. (Sistemas de Produção, 15).

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, mar. 2000.

FANCELLI, A. L. **Milho:** nutrição e adubação. Piracicaba: FEALQ, 2008. 212 p.

FANCELLI, A. L. **Milho:** produção e produtividade. Piracicaba: USP/ESALQ/LPV, 2011. 176 p.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Milho:** fatores determinantes da produtividade. Piracicaba. FEALQ, 2007. 219 p.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Milho:** manejo e produtividade. Piracicaba: USP/ESALQ/LPV, 2009. 181 p.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas.** Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 183 p.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO E IRRIGAÇÃO.

Agricultura do futuro. Disponível em:

<http://www.febrapdp.org.br/download/PD_Brasil_2013.jpg>. Acesso em: 10 mar. 2013.

FERREIRA, A. C. B. et al. Características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibidênio e zinco. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 1, p. 131-138, jan./mar. 2001.

FERREIRA, L. A. et al. Bioestimulante e fertilizante associados ao tratamento de sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 29, n. 2, p. 80-89, 2007.

FRESOLI, D. M. et al. **Evalución de un bioestimulante en sojas con distintos hábitos de crecimiento.** Disponível em:

<http://www.acsoja.org.ar/images/cms/contenidos/594_b.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2013.

GALRÃO, E. Z. Efeito de micronutrientes e de cobalto na produção e composição química do arroz, milho e soja em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, n. 1, p. 111-116, jan./abr. 1984.

GALRÃO, E. Z. Métodos de aplicação de 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, n. 2, p. 283-289, 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, maio/ago. 1994.

GALRÃO, E. Z. Micronutrientes. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília: EMBRAPA Informação e Tecnologia, 2004. p. 207-208.

GALRAO, 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, p. 167-170, 1981.

GIROTTTO, E. et al. Acúmulo e formas de cobre e zinco no solo após aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 3, p. 955-965, maio/jun. 2010.

GONÇALVES JÚNIOR, A. C. et al. Produtividade do milho em resposta a adubação com NPK e Zn em Argissolo Vermelho-Amarelo eutroférico e Latossolo Vermelho eutroférico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1231-1236, jul./ago. 2007.

HERNANI, L. C. **Manejo e conservação de recursos naturais da região Oeste do Brasil**. Dourados: EMBRAPA-CPAO, 1997. 53 p. (Circular Técnica, 5).

HOLANDA, F. S. R. et al. Contribuição do sistema de cultivo sobre a matéria orgânica de um Gleissolo e a produtividade do milho e da soja. **Semina: Ciência Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 3, p. 938-994, 2011.

INOCÊNCIO, M. F. et al. Resposta da soja à adubação com zinco em solo com teores acima do nível crítico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 10, p. 1550-1554, out. 2012.

KLUTHCOUSKI, J. et al. Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 97-104, jan./mar. 2000.

KLUTHCOUSKI, J. et al. **Sistema Santa Fé: tecnologia Embrapa: integração lavoura-pecuária pelo consórcio de culturas anuais com forrageiras, em áreas de lavoura, nos sistemas direto e convencional**. Santo Antonio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2000. 28 p. (Circular Técnica, 38).

KORNDORFER, G. H. et al. Formas de adição de zinco a um formulado NPK e seu efeito sobre a produção de milho. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 52, n. 3, p. 555-560, set./dez. 1995.

KURIHARA, C. H. **Demanda de nutrientes pela soja e diagnose do seu estado nutricional**. 2004. 101 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2004.

LOPES, A. S. **Micronutrientes: filosofia de aplicação e eficiência agronômica**. São Paulo: ANDA, 1999. 64 p.

LOPES, A. S.; COX, F. R. A survey of the fertility status of surface soils under "cerrado" vegetation in Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 41, n. 4, p. 742-747, 1977.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. **Solos sob cerrado: manejo da fertilidade para a produção agropecuária**. 2. ed. São Paulo: ANDA, 1994. 62 p. (Boletim Técnico, 5).

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MALAVOLTA, E.; KLIEMANN, H. J. **Desordens nutricionais no cerrado**. Piracicaba: POTAFÓS, 1985. 136 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.

MARQUES, J. J. et al. Trace element geochemistry in Brazilian Cerrado soils. **Geoderma**, Amsterdam, v. 121, n. 1/2, p. 31-43, July 2004.

MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G.; SOUZA, R. B. Diagnose foliar. In: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS

GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: UFV, 1999. p. 143-168.

MENEGHETTI, R. C. **Avaliação do fosfito de potássio sobre o progresso de *Phakopsora pachyrhizi* em soja**. 2009. 65 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

MORTVEDT, J. J. Micronutrient fertilizers and fertilization practices. **Fertilizer Research**, The Hague, v. 14, n. 2, p. 221-235, 1985.

MORTVEDT, J. J. Micronutrients fertilizer technology. In: MORTVEDT, J. J. et al. (Ed.). **Micronutrients in agriculture**. 2nd ed. Madison: Soil Science Society of America, 1991. p. 523-548.

MOTOMIYA, A. V. A. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo e produtividade do algodoeiro. **Agrarian**, Dourados, v. 4, n. 11, p. 1-9, 2011.

MURAOKA, T. **Solubilidade do zinco e do manganês em diversos extratores e disponibilidade desses dois micronutrientes para o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Carioca**. 1981. 141 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1981.

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**, Viçosa, MG, v. 28, n. 6, p. 965-971, 2004.

NAVA, I. A. et al. Efeito agroeconômico dos adubos contendo zinco de diferentes marcas comerciais no cultivo de soja em um latossolo vermelho. **Revista Verde**, Mossoró, v. 6, n. 4, p. 175-183, 2011.

NOVAKOWISKI, J. H. et al. Efeito da aplicação de fungicida e fosfito de potássio sobre a massa seca de milho para a produção de silagem de planta inteira. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28., 2010, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2010. 1 CD-ROM.

NUNES, R. S. et al. Sistemas de manejo e os estoques de carbono e Nitrogênio em latossolo de cerrado com a Sucessão soja-milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 4, p. 1407-1419, 2011.

OKAZAKI, M.; TAKAMIDOH, K.; YAMANE, I. Adsorption of heavy metal cations on hydrated oxides and oxides of iron and aluminum with different crystallinities. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 32, n. 4, p. 523-533, Oct. 1986.

ORIOLO JÚNIOR, V. et al. Modos de aplicação de zinco na nutrição e na produção de massa seca de plantas de trigo. **Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal**, Temuco, v. 8, n. 1, p. 28-36, 2008.

PAIVA, P. J. et al. Acidificação de um latossolo roxo do estado do Paraná sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, n. 3, p. 71-75, maio/jun. 1996.

PRADO, R. M. et al. Modos de aplicação de zinco na nutrição e na produção de matéria seca do milho brs 1001. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 1, p. 67-74, jan./mar. 2007.

RAIJ, B. van et al. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico; Fundação IAC, 1996. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

RESENDE, A. V. et al. **Fertilidade do solo e manejo da adubação NPK para alta produtividade de milho no Brasil Central**. Sete Lagoas: CNPMS, 2012. 12 p. (Circular Técnica, 181).

RITCHEY, K. D. et al. 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, mar. 1986.

ROSOLEM, V. et al. Variações nos teores de C total e isotópico do solo após substituição do cerrado em sistemas agrícolas no triângulo mineiro. **Semina: Ciências Agrárias**, Passo Fundo, v. 24, n. 1, p. 157-168, jan./abr. 2012.

SANTOS, C. M. G.; VIEIRA, E. L. Efeito de bioestimulante na germinação de sementes, vigor de plântulas e crescimento inicial do algodoeiro. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 17, n. 3, p. 124-130, 2005.

SFREDO, G. J.; BORKERT, C. M.; CASTRO, C. Efeito de micronutrientes sobre a produção de soja em três solos do estado do Paraná. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 75, p. 2-3, 1996.

SILVA, F. C. da; RAIJ, B. van. Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 2, p. 267-288, fev. 1999.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2002. 416 p.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 205-274.

STAUT, L. A.; KURIHARA, C. H.; SILVA, W. M. Fertilidade do solo e estado nutricional da soja cultivada no sistema plantio direto, em Mato Grosso do Sul e Mato Grosso. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 21., 1999, Dourados. **Resumos...** Dourados: EMBRAPA Agropecuária Oeste; EMBRAPA Soja, 1999. p. 208-209.

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

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. da; LIBARDI, P. L. Soil physical quality of a Brazilian Oxisol under two tillage systems using the least limiting water range approach. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 52, n. 3/4, p. 223-232, Oct. 1999.

VALLADARES, G. S. et al. Zinco total e disponível em amostras de perfis de solos do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 4, p. 1105-1114, 2009.

VIEIRA, E. L. **Ação de bioestimulante na germinação de sementes, vigor de plântulas, crescimento radicular e produtividade de soja (*Glycine max* L.), feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e arroz (*Oryza sativa* L.)**. 2001. 122 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2001.

VIEIRA, E. L.; CASTRO, P. R. C. Ação de bioestimulante na germinação de sementes, vigor das plântulas, crescimento radicular e produtividade de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 23, n. 2, p. 222-228, 2001.

VIEIRA, E. L.; CASTRO, P. R. C. **Ação de estimulante no desenvolvimento inicial de plantas de algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.)**. Piracicaba: ESALQ, 2002. 3 p.

VITTI, G. C. et al. Nutrição e adubação do milho. In: FANCELLI, A. L. (Ed.). **Milho: produção e produtividade**. Piracicaba: USP/ESALQ/LPV, 2011. 176 p.

WESTFALL, D. G.; GANGLOFF, G. A.; PETERSON, J. J. **Organic and inorganic fertilizers: relative availability**. Mortvedt: Colorado State University, 2000. 15 p. (Technical Bulletin, 00-1).

APÊNDICES

APÊNDICE A - Concentração de Nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe) e manganês (Mn) nas folhas de milho na época do florescimento em diferentes alternativas de restituição de Zn, (Sete Lagoas, MG)

TRAT.	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn
	g kg ⁻¹							mg kg ⁻¹		
T1	25 a	3 a	28 a	8 a	4 a	1 a	9 a	11 a	126 a	59 a
T2	28 a	3 a	30 a	9 a	4 a	1 a	9 a	11 a	125 a	59 a
T3	27 a	3 a	30 a	9 a	4 a	1 a	9 a	11 a	116 a	53 a
T4	27 a	3 a	29 a	9 a	4 a	1 a	11 a	11 a	112 a	59 a
T5	28 a	3 a	30 a	9 a	4 a	1 a	8 a	10 a	118 a	59 a
T6	27 a	3 a	30 a	9 a	5 a	1 a	10 a	11 a	112 a	55 a
T7	28 a	3 a	30 a	8 a	4 a	1 a	9 a	10 a	118 a	50 a
T8	26 a	3 a	28 a	8 a	4 a	1 a	9 a	10 a	121 a	54 a
T9	29 a	3 a	26 a	8 a	4 a	1 a	9 a	11 a	111 a	61 a
T10	30 a	3 a	29 a	11 a	4 a	1 a	9 a	12 a	119 a	62 a
T11	27 a	3 a	28 a	10 a	4 a	1 a	10 a	12 a	117 a	221 a
T12	29 a	3 a	27 a	9 a	4 a	1 a	9 a	12 a	121 a	55 a
T13	27 a	3 a	26 a	8 a	4 a	1 a	10 a	10 a	139 a	55 a
C.V. (%)	8,8	9,5	8,0	19,0	12,0	8,0	20,0	12,0	19,0	129,0

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade

APÊNDICE B - Concentração de Nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe) e manganês (Mn) nos grãos de milho em diferentes alternativas de restituição de Zn, (Sete Lagoas, MG)

TRAT.	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn
	----- g kg ⁻¹ -----					----- mg kg ⁻¹ -----				
T1	17 a	5 a	6 a	0,4 a	2 a	1 a	6 a	3 a	42 a	7 a
T2	18 a	5 a	6 a	0,4 a	2 a	1 a	3 a	3 a	51 a	7 a
T3	17 a	5 a	6 a	0,4 a	2 a	1 a	3 a	3 a	41 a	7 a
T4	17 a	4 a	6 a	0,6 a	1 a	1 a	5 a	3 a	44 a	7 a
T5	17 a	5 a	6 a	0,4 a	2 a	1 a	5 a	3 a	38 a	6 a
T6	18 a	4 a	5 a	0,3 a	1 a	1 a	4 a	3 a	46 a	6 a
T7	18 a	5 a	6 a	0,4 a	2 a	1 a	7 a	3 a	51 a	7 a
T8	17 a	4 a	6 a	0,4 a	1 a	1 a	2 a	3 a	40 a	7 a
T9	17 a	4 a	5 a	0,5 a	1 a	1 a	2 a	2 a	40 a	6 a
T10	17 a	4 a	5 a	0,5 a	1 a	1 a	4 a	3 a	42 a	7 a
T11	16 a	5 a	6 a	0,5 a	2 a	1 a	4 a	3 a	47 a	7 a
T12	16 a	6 a	5 a	0,5 a	1 a	1 a	5 a	3 a	50 a	6 a
T13	16 a	4 a	5 a	0,6 a	1 a	1 a	4 a	3 a	58 a	6 a
C.V. (%)	8,0	23,0	18,0	28,0	23,0	18,0	45,0	21,0	27,0	17,0

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade

APÊNDICE C - Concentração de Nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), cobre (Cu), ferro (Fe) e manganês (Mn) nas folhas de Soja na época do florescimento em diferentes alternativas de restituição de Zn, (Sete Lagoas, MG)

	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn
	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹			
T1	50 a	3 a	21 a	10 a	4 a	2 a	8 a	163 a	48 a
T2	49 a	4 a	20 a	10 a	4 a	3 a	9 a	128 a	51 a
T3	46 a	4 a	21 a	11 a	4 a	3 a	9 a	111 a	52 a
T4	50 a	4 a	21 a	8 a	4 a	2 a	8 a	89 a	50 a
T5	50 a	4 a	21 a	11 a	4 a	3 a	9 a	112 a	48 a
T6	50 a	4 a	21 a	11 a	4 a	3 a	9 a	99 a	50 a
T7	53 a	4 a	21 a	10 a	4 a	3 a	9 a	107 a	50 a
T8	50 a	4 a	20 a	11 a	4 a	3 a	9 a	136 a	51 a
T9	50 a	4 a	21 a	11 a	4 a	3 a	9 a	118 a	50 a
T10	46 a	4 a	21 a	11 a	4 a	2 a	9 a	91 a	46 a
T11	50 a	4 a	20 a	11 a	4 a	2 a	9 a	97 a	51 a
T12	48 a	3 a	21 a	11 a	4 a	2 a	8 a	88 a	48 a
T13	50 a	4 a	21 a	10 a	4 a	2 a	8 a	101 a	51 a
C.V. (%)	11,0	9,0	6,0	12,0	6,0	9,0	9,0	37,0	14,0

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade

APÊNDICE D - Concentração de Nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe) e manganês (Mn) nos grãos de soja em diferentes alternativas de restituição de Zn, (Sete Lagoas, MG)

	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn
	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹				
T1	50 a	6 a	13 a	3 a	3 a	4 a	29 a	15 a	91 a	15 a
T2	50 a	6 a	12 a	3 a	3 a	4 a	21 a	13 a	112 a	15 a
T3	54 a	6 a	12 a	3 a	3 a	4 a	32 a	13 a	82 a	16 a
T4	50 a	6 a	14 a	3 a	3 a	4 a	30 a	15 a	120 a	17 a
T5	52 a	6 a	13 a	3 a	2 a	4 a	34 a	12 a	99 a	14 a
T6	54 a	6 a	13 a	3 a	3 a	4 a	36 a	12 a	114 a	13 a
T7	53 a	6 a	12 a	3 a	3 a	4 a	32 a	13 a	90 a	14 a
T8	54 a	6 a	13 a	3 a	3 a	4 a	32 a	12 a	85 a	14 a
T9	54 a	6 a	13 a	3 a	3 a	4 a	31 a	13 a	96 a	15 a
T10	53 a	6 a	13 a	3 a	3 a	4 a	29 a	13 a	86 a	16 a
T11	60 a	6 a	13 a	3 a	3 a	4 a	27 a	12 a	85 a	15 a
T12	54 a	6 a	14 a	3 a	3 a	4 a	34 a	12 a	102 a	17 a
T13	52 a	6 a	13 a	3 a	3 a	4 a	28 a	13 a	95 a	20 a
C.V. (%)	7,0	6,0	14,0	5,0	4,0	8,0	20,0	13,0	22,0	22,0

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade

APÊNDICE E - Análise de variância da concentração de macronutrientes nas folhas de plantas de milho na época do florescimento em função da adubação com zinco, (Sete Lagoas, MG)

Quadrado Médio							
FV	GL	N	P	K	Ca	Mg	S
Tratamento	12	7,58 ^{NS}	0,11 ^{NS}	6,14 ^{NS}	3,24 ^{NS}	0,3 ^{NS}	0,01 ^{NS}
Resíduo	36	5,91	0,08	5,24	2,73	0,22	0,00
Total	51						
C.V. (%)		9	9	8	18,8	12,2	8

^{NS} Não significativo a 5% pelo teste F

APÊNDICE F - Análise de variância da concentração de micronutrientes nas folhas de plantas de milho na época do florescimento em função da adubação com zinco, (Sete Lagoas, MG)

Quadrado Médio						
FV	GL	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Tratamento	12	2,32 ^{NS}	1,95 ^{NS}	211 ^{NS}	8384 ^{NS}	6,56 ^{NS}
Resíduo	36	3,44	1,74	541	8007	6,86
Total	51					
C.V. (%)		20	12	19	129	11

^{NS}Não significativo a 5% pelo teste F

APÊNDICE G - Análise de variância da concentração de macronutrientes nos grãos de milho em função da adubação com zinco, (Sete Lagoas, MG)

Quadrado Médio							
FV	GL	N	P	K	Ca	Mg	S
Tratamento	12	1,48 ^{NS}	1,33 ^{NS}	1,33 ^{NS}	0,019 ^{NS}	0,14 ^{NS}	0,02 ^{NS}
Resíduo	36	1,87	1,07	0,99	0,014	0,1	0,38
Total	51						
C.V. (%)		8	23	18	28	23	18

^{NS}Não significativo a 5% pelo teste F

APÊNDICE H - Análise de variância da concentração de micronutrientes nos grãos de milho em função da adubação com zinco, (Sete Lagoas, MG)

Quadrado Médio						
FV	GL	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Tratamento	12	7,89 ^{NS}	0,30 ^{NS}	135 ^{NS}	1,23 ^{NS}	34,08 ^{NS}
Resíduo	36	3,57	0,34	148	1,19	29,48
Total	51					
C.V. (%)		45	21	27	17	18

^{NS}Não significativo a 5% pelo teste F

APÊNDICE I - Análise de variância da concentração de macronutrientes nas folhas de plantas de soja na época do florescimento em função da adubação com zinco, (Sete Lagoas, MG)

Quadrado Médio							
FV	GL	N	P	K	Ca	Mg	S
Tratamento	12	14,41 ^{NS}	0,12 ^{NS}	1,50 ^{NS}	3,55 ^{NS}	0,06 ^{NS}	0,06 ^{NS}
Resíduo	36	30,7	0,108	1,39	1,69	0,05	0,05
Total	51						
C.V. (%)		11	9	5,6	12,5	6	9

^{NS}Não significativo a 5% pelo teste F

APÊNDICE J - Análise de variância da concentração de micronutrientes nas folhas de plantas de soja na época do florescimento em função da adubação com zinco, (Sete Lagoas, MG)

Quadrado Médio						
FV	GL	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Tratamento	12	-	1,05 ^{NS}	1814,27 ^{NS}	13,53 ^{NS}	290,20 ^{NS}
Resíduo	36	-	0,58	1669,91	48,52	22,65
Total	51					
C.V. (%)		-	8,8	37	14	13

^{NS}Não significativo a 5% pelo teste F

APÊNDICE K - Análise de variância da concentração de macronutrientes nos grãos de soja em função da adubação com zinco, (Sete Lagoas, MG)

Quadrado Médio							
FV	GL	N	P	K	Ca	Mg	S
Tratamento	12	24,42 ^{NS}	0,12 ^{NS}	1,43 ^{NS}	0,09 ^{NS}	0,11 ^{NS}	0,18 ^{NS}
Resíduo	36	12,11	0,13	3,08	0,02	0,012	0,09
Total	51						
C.V. (%)		6,5	6,3	13,5	5,2	4,4	8

^{NS}Não significativo a 5% pelo teste F

APÊNDICE L - Análise de variância da concentração de micronutrientes nos grãos de soja em função da adubação com zinco, (Sete Lagoas, MG)

Quadrado Médio						
FV	GL	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Tratamento	12	61,71 ^{NS}	3,59 ^{NS}	588,79 ^{NS}	12,80 ^{NS}	8,82 ^{NS}
Resíduo	36	36,96	2,76	456,74	11,41	6,28
Total	51					
C.V. (%)		20	13	22	22	6

^{NS}Não significativo a 5% pelo teste F

APÊNDICE M - Análise de variância da produção de grãos de milho (kg ha⁻¹) submetido a aplicações de diferentes produtos de complementação nutricional com zinco e biorreguladores (Sete Lagoas, MG)

FV	GL	Quadrado Médio
Tratamento	12	111636,5
Resíduo	36	396259,2
Total	51	
C.V. (%)	5,73	

^{NS}Não significativo a 5% pelo teste F

APÊNDICE N - Análise de variância da produção de grãos de soja (kg ha⁻¹) submetida a aplicações de diferentes produtos de complementação nutricional com zinco e biorreguladores (Sete Lagoas, MG)

FV	GL	Quadrado Médio
Tratamento	12	167836,7
Resíduo	36	127486,8
Total	51	

C.V. (%)	8,92
----------	------

^{NS}Não significativo a 5% pelo teste F