

AVALIAÇÃO DE FONTES DE ENXOFRE E DAS FORMAS DE MICRONUTRIENTES REVESTINDO O NPK NA CULTURA DO MILHO

IVAN VILELA ANDRADE FIORINI¹, RENZO GARCIA VON PINHO¹,
LUIZ PAULO MIRANDA PIRES¹, ÁLVARO OLIVEIRA SANTOS¹,
FABRÍCIO VILELA ANDRADE FIORINI¹, LEANDRO LOPES CANCELLIER¹
e EWERTON LÉLYS RESENDE¹

¹Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil - ivanvaf@yahoo.com.br; renzo@dag.ufla.br; luizpaulo_vortex@hotmail.com; alvaroareado@yahoo.com.br; fabriciovaf@hotmail.com; leandrocancellier@hotmail.com; ewerton-resende@bol.com.br

Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.15, n.1, p. 20-29, 2016

RESUMO - No Brasil, com o uso constante de adubos concentrados em NPK com baixos teores de enxofre, além de outros fatores, o Enxofre (S) passou a ser limitante ao desenvolvimento das plantas. Com o objetivo de avaliar a eficiência agrônômica de fertilizantes na cultura do milho associados a duas fontes de enxofre e a duas formas de micronutrientes, foram conduzidos dois experimentos sob plantio direto em novembro 2008. Um experimento foi semeado em Ijaci, MG e o outro em Lavras, MG. Os delineamentos experimentais foram de blocos casualizados com quatro repetições em esquema fatorial 3 x 2, sendo três fertilizantes, um sem enxofre e os outros dois com diferentes fontes de enxofre (enxofre elementar ou sulfato de amônio), associados a duas formas de micronutrientes (granulado ou grânulo revestido). Não foram constatadas diferenças para fontes de enxofre e para formas de fornecimento dos micronutrientes. As diferentes fontes de enxofre afetaram as características estudadas de modo semelhante e independeram da forma usada dos micronutrientes. A substituição do enxofre proveniente do sulfato de amônio pelo enxofre elementar em fertilizantes NPK ou até mesmo a ausência deste nos fertilizantes não comprometeu a eficiência dos fertilizantes avaliados pela produtividade.

Palavra-chave: *Zea mays*, enxofre elementar, sulfato de amônio.

EVALUATION OF SULFUR SOURCES AND FORMS OF MICRONUTRIENTS COATED ONTO NPK FERTILIZER IN MAIZE

ABSTRACT- In Brazil, as a result of the constant use of concentrated NPK fertilizers, besides some other factors, sulfur became a limiting nutrient for plant development. Two experiments were performed under no till system in November 2008 aiming to evaluate the agronomic efficiency of fertilizers associated to two sulfur sources and two micronutrients forms in corn crops, one in Ijaci-MG and one in Lavras-MG. The experimental design was randomized blocks with four replications in a 3 x 2 factorial scheme, with three fertilizers, one without sulfur and the other two with different sources of sulfur (elemental sulfur or ammonium sulfate), associated to two forms of micronutrients (granular or coated granule). No differences were observed for sulfur sources and forms of supplying micronutrients. The different sulfur sources affected the characteristics in a similar way and did not depend on the form of the micronutrients. The replacement of sulfur originated from ammonium sulfate by the elemental sulfur in NPK fertilizers or even the absence of this in fertilizers did not affect the efficiency of fertilizer evaluated by productivity.

Keys words: *Zea mays*, elemental sulfur, ammonium sulfate.

O enxofre (S), assim como outros nutrientes, apresenta grande importância no desenvolvimento das plantas por fazer parte da constituição protéica, entre outros constituintes. A deficiência de S apresenta sintomas visuais apenas quando severa (clorose nas folhas jovens), sendo semelhante à deficiência de nitrogênio, incluindo redução no crescimento da planta (Lavres Júnior et al., 2008). Por outro lado, o suprimento adequado de S aos vegetais aumenta a utilização de N na síntese proteica (Rubisco), aumentando, portanto, o índice fotossintético das folhas e a produção da cultura (Silva et al., 2003).

Para que seja absorvido pela planta, o S aplicado via solo deve ser transportado até a superfície das células da raiz. Desse modo, o milho apresenta alta absorção radicular de S, retendo grande parte desse elemento na raiz. A extração do íon da solução do solo e a taxa de transpiração determinam a quantidade transportada pelo fluxo de massa, principal mecanismo de absorção do S (Silva et al., 1998). Em solos com teores de S inferiores a 10 mg dm^{-3} , as respostas à adubação com esse elemento na cultura do milho tendem a aumentar. Desta forma, é importante a manutenção do nível crítico de S no solo a fim de garantir altos patamares de produtividade.

No Brasil atualmente, com o uso intensivo dos solos visando a altas produtividades e com o uso constante de adubos concentrados em NPK (teor de S < 1 %), além de outros fatores e a pouca importância dada ao enxofre (S), esse elemento passou a ser limitante ao desenvolvimento das plantas (Rheinheimer et al., 2005; Horowitz & Meurer, 2006). A sua deficiência na região dos Cerrados, importante produtora de alimentos do país, tornou-se fator limitante da produção agrícola devido a baixa fertilidade do solo associada a pouca matéria orgânica do solo (teor de matéria orgânica < 2%). Aliado a isso, o aumento de

exportação dos nutrientes pelos grãos e o uso de fertilizantes concentrados em NPK, que contém pouco S em sua composição, contribuem para o pronunciamento dessa deficiência (Rheinheimer et al., 2005).

Há necessidade de mais estudos para a verificação da eficiência de outras fontes de S, como o enxofre elementar (S_0) em diferentes solos e condições. A utilização do S_0 , com mais de 90% de S incorporado em fertilizantes NPK em substituição a outras fontes de S, é uma realidade em vários países e pode aumentar a concentração do nutriente nas formulações NPK concentradas, reduzindo os custos de produção, de transporte e de aplicação do fertilizante (Zhao et al., 1996; Horowitz & Meurer, 2006).

No Brasil, há poucos trabalhos de pesquisa evidenciando a utilização do S_0 como principal fonte de S em fertilizantes comerciais. A incorporação de S_0 a fertilizantes convencionais, como ureia e superfosfato triplo, é outra forma de aumentar o teor do nutriente em formulações NPK. Porém, a forma de incorporação do S_0 ao formulado terá repercussões na eficiência agrônômica do fertilizante. Entre as formas de incorporações, destacam-se: a) o recobrimento do fertilizante previamente granulado com S_0 fundido; e b) a incorporação do S_0 em pó durante a granulação do superfosfato (Stipp & Casarin, 2010). Há a necessidade de se verificar se a eficiência agrônômica de fertilizantes contendo S_0 é semelhante quando este advém de outras fontes. Pesquisas demonstraram que a forma elementar do enxofre (S_0) pode ser considerada fertilizante, desde que as condições do solo como aeração, pH, textura, teor de matéria orgânica, teor de nutrientes e também biomassa microbiana permitam a conversão da forma elementar para sulfato através da oxidação do S_{II} que é realizada, principalmente, por microrganismos específicos do solo (Janzen & Bettany, 1987; Chien et al., 1988; Germida & Jansen,

1993; Cowell & Schoenau, 1995; Horowitz & Meurer, 2007). Há ainda a possibilidade de que, em alguns solos, o S_0 se torne mais eficiente que o sulfato em função do efeito residual, sendo necessários mais estudos para melhorar o entendimento da dinâmica do S no solo e da sua eficiência na produção das culturas (Rehm, 2005).

Entre as formas de incorporações de micronutrientes no adubo NPK, destacam-se o recobrimento do fertilizante granulado com micronutrientes fundidos no grânulo (grânulo revestido) e a incorporação dos micronutrientes em pó durante a granulação do fertilizante (micro granulado). O objetivo com este trabalho foi avaliar a eficiência de fertilizantes NPK sem enxofre e com enxofre proveniente do sulfato de amônio ou S_0 associados a micronutrientes fornecidos na forma granulada ou a micronutrientes revesti-

dos no grânulo em sistema de plantio direto.

Material e Métodos

Os experimentos foram instalados no dia 18 de novembro de 2008 em dois diferentes ambientes de cultivo, diferindo quanto ao solo, ao clima, ao local e também quanto aos teores de enxofre e de outros elementos no solo. O primeiro experimento foi conduzido em Lavras, MG (Departamento de Agricultura / UFPA) em solo classificado como Latossolo Vermelho Escuro distroférrico, teor de argila de 54 dag kg^{-1} (Lavras, MG) e 57 dag kg^{-1} (Ijaci, MG) e declividade de 9% (Santos et al., 2013); os dados pluviométricos estão demonstrados na Figura 1.

Os resultados obtidos com a análise química desse solo (0 - 20 cm de profundidade) foram: pH em

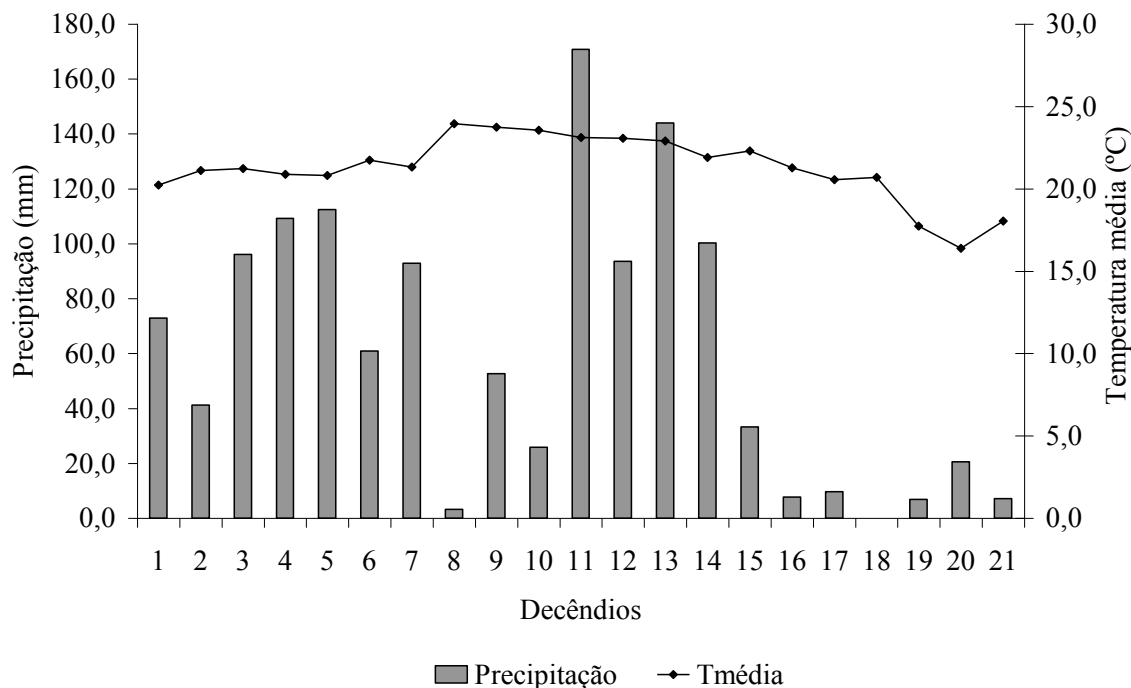


Figura 1. Dados médios de temperatura e de precipitação pluviométrica por decêndio em Lavras, MG no período de 18/11/2008 a 17/06/2008. Dados obtidos no Setor de Bioclimatologia da Ufla.

$H_2O = 5,7$; $P = 11,1 \text{ mg dm}^{-3}$; $K = 109 \text{ mg dm}^{-3}$; $Ca = 39 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $Mg = 12 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $V\% = 57,1$; matéria orgânica = 30 g kg^{-1} ; $S-SO_4 = 4,8 \text{ mg dm}^{-3}$; $Zn^{2+} = 5,5 \text{ mg dm}^{-3}$; $Mn^{2+} = 14,3 \text{ mg dm}^{-3}$; $Cu^{2+} = 3,0 \text{ mg dm}^{-3}$; e $B = 0,6 \text{ mg dm}^{-3}$. O segundo experimento foi conduzido em Ijaci, MG (Fazenda Vitorinha) em solo classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distroférrico e declividade de 4% (Santos et al., 2013). Os resultados obtidos com a análise química do solo neste local (0 - 20 cm de profundidade) foram: pH em $H_2O = 5,5$; $P = 4,6 \text{ mg dm}^{-3}$; $K = 72 \text{ mg dm}^{-3}$; $Ca = 12 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $Mg = 5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $V\% = 42,5$; matéria orgânica = 25 g kg^{-1} ; $S-SO_4 = 9,8 \text{ mg dm}^{-3}$; $Zn^{2+} = 4,3 \text{ mg dm}^{-3}$; $Mn^{2+} = 9,1 \text{ mg dm}^{-3}$; $Cu^{2+} = 1,5 \text{ mg dm}^{-3}$; e $B = 0,7 \text{ mg dm}^{-3}$. As áreas utilizadas para a condução dos experimentos foram cultivadas sob o sistema de plantio direto, dessecadas com o herbicida Roundup - Transorb 15 dias antes do plantio. O controle de plantas daninhas foi realizado no estádio de 5 folhas expandidas com o uso da mistura de atrazina na dosagem de $4,0 \text{ L ha}^{-1}$ e nicossulfuron na dosagem de $0,5 \text{ L ha}^{-1}$, aplicada aos 30 dias após a semeadura em pós-emergência das plantas daninhas. Todos os outros tratos culturais realizados foram semelhantes nos experimentos e realizados quando necessários. O clima predominante nos municípios é classificado como mesotérmico, com temperaturas anuais de $19,3 \text{ }^\circ\text{C}$, precipitação de 1.411 mm , com 70% desse total concentrado nos meses de dezembro a março.

Foram avaliados seis tratamentos em esquema fatorial 3×2 , sendo três fertilizantes, um sem S e os outros dois com diferentes fontes de S (sulfato de amônio e enxofre elementar), associados a duas formas de fornecimento de micronutrientes, granulado e grânulo revestido (Tabela 1).

O delineamento experimental utilizado foi o de

blocos casualizados com quatro repetições. A parcela experimental constou de quatro linhas de 5 m cada e espaçamento de 0,8 m, sendo a parcela útil as duas linhas centrais. Foi utilizado o híbrido de milho GNZ 2004 com população após desbaste de 60 mil plantas por hectare.

A adubação foi calculada de modo a fornecer quantidades adequadas de nitrogênio, fósforo e potássio baseadas na expectativa de obtenção de alta produtividade de grãos (Ribeiro et al., 1999). Em todos os tratamentos da Tabela 1, foram utilizados 500 kg ha^{-1} do adubo formulado concentrado 8-28-16 em adubação de semeadura e 400 kg ha^{-1} do adubo de cobertura 22-00-20 quando as plantas se encontravam com quatro folhas expandidas, ambos associados ou não às fontes de enxofre (S_0 ou SO_4^{-2}). Nos quatro tratamentos em que foi fornecido enxofre, a quantidade total foi de 42 kg ha^{-1} de enxofre ($12,5 \text{ kg de S no plantio e } 29,5 \text{ kg de S em cobertura}$), visando a repor a extração de S ($3 \text{ a } 4 \text{ kg S ha}^{-1}$) no solo, que pode ser ocasionada devido a altas produtividades de grãos de milho.

Foram avaliadas as seguintes características: a) altura de plantas (AP) - medida de cinco plantas na área útil da parcela; b) altura de inserção de espiga (AE) - medida em cinco plantas na área útil da parcela; c) produtividade de grãos (PG) - foram colhidas as espigas da área útil da parcela, que foram debulhadas e tiveram os grãos pesados. Posteriormente, determinou-se o seu teor de umidade. Os dados referentes a produtividade de grãos foram corrigidos para umidade padrão de 13% e transformados para kg ha^{-1} .

Foram realizados os testes de aditividade do modelo, normalidade dos erros e homogeneidade das variâncias. Não havendo nenhuma restrição às pressuposições da análise da variância, os dados foram submetidos a análises de variâncias individuais e posteriormente foi realizada a análise de variância con-

Tabela 1. Descrição dos tratamentos avaliados nos experimentos.

Tratamentos	Plantio:		Cobertura:
	Aubos	Forma do Micro	
1 - Sem enxofre	08-28-16	Micro Granulado (0,45%Zn + 0,12%B)	22-00-20
2 - Sem enxofre	08-28-16	Micro Total (grânulo revestido) (0,45%Zn + 0,12%B)	22-00-20
3 - Enxofre do sulfato de amônio	08-28-16 +2,5 % S	Micro Granulado (0,45% Zn + 0,12%B)	22-00-20 + 7,4% S
4 - Enxofre do sulfato de amônio	08-28-16 +2,5 % S	Micro Total (grânulo revestido) (0,45%Zn + 0,12%B)	22-00-20 + 7,4% S
5 - Enxofre elementar	08-28-16 +2,5 % S	Micro Granulado (0,45%Zn + 0,12%B)	22-00-20 + 7,4% S
6 - Enxofre elementar	08-28-16 +2,5% S	Micro Total (grânulo revestido) (0,45%Zn + 0,12%B)	22-00-20 + 7,4% S

junta envolvendo os dois experimentos. As médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott aos 5% de probabilidade de ocorrência de erros através do programa estatístico Sisvar (Ferreira, 2008).

De acordo com a análise de variância conjunta envolvendo os ambientes, não foram constatadas diferenças significativas para as fontes de variação fontes de enxofre e forma dos micros (Zinco e Boro) para as características alturas de plantas e de espigas e produtividade de grãos. Por outro lado, constataram-se diferenças significativas ($p \leq 0,01$) para a fonte de variação ambientes para todas as características avaliadas. Foram constatadas interações entre as fontes de enxofre e as formas dos micros para a altura de plantas. Houve interação envolvendo as fontes de enxofre e os ambientes para produtividade de grãos ($p \leq 0,05$), ou seja, os resultados obtidos pelas diferentes fontes de enxo-

fre foram dependentes do ambiente analisado. E, ainda, ocorreu interação envolvendo os fatores fontes de enxofre e forma dos micros para a altura de plantas ($p \leq 0,01$), sendo que os resultados obtidos pelas diferentes fontes de enxofre foram dependentes da forma dos micros.

Na análise dos resultados médios de altura de plantas, altura de espigas e produtividade de grãos, considerando as diferentes fontes de enxofre, verificou-se que não houve diferenças entre as fontes de enxofre para nenhuma das características agrônomicas avaliadas (Tabela 2). Os resultados de produtividade de grãos do milho obtidos neste trabalho são diferentes daqueles obtidos por Domingues et al. (2004), Rheinheimer et al. (2005), Miranda & Miranda (2008), Lara Cabezas & Souza (2008) e Frandoso et al. (2010), que encontraram respostas significativas na produtividade de grãos com a aplicação

de enxofre em relação às testemunhas sem enxofre. É importante ressaltar que esses autores trabalharam com menores níveis de enxofre no solo quando comparados aos teores verificados neste trabalho.

Porém, ao analisar o desdobramento da interação entre as fontes de enxofre e os ambientes para essa característica, pode-se verificar que as fontes de adubo com S (Sulfato e S_0) no local Lavras (baixo nível de S no solo) foram semelhantes e propiciaram os maiores valores de produtividade de grãos em relação aos tratamentos sem S (Tabela 3). No local Ijaci, não houve diferenças entre as fontes de enxofre devido ao teor de S no solo $9,8 \text{ mg dm}^{-3}$, não apresentando assim deficiência de enxofre a ponto de afetar a produtividade de grãos quando se utilizou o tratamento sem enxofre. Observa-se ainda para essa característica a superioridade do local Lavras em relação ao local Ijaci nas diferentes adubações. Essa superioridade pode ser devida aos bons níveis da maioria dos nutrientes e à matéria

orgânica no solo. O segundo experimento em Ijaci foi inferior para a produtividade de grãos possivelmente devido ao fato de a área se encontrar em fase inicial de plantio direto, ou seja, apresentava-se no segundo ano de cultivo de milho após o cultivo de braquiária.

Vários autores relatam a resposta de diversas culturas à aplicação do S em função das doses de S. As doses crescentes de S propiciaram maior produção de matéria seca da parte aérea em braquiária, no primeiro e no segundo cortes, em função das doses de S (Lavras Júnior et al., 2008). Prochnow et al. (2007), cultivando braquiária em casa de vegetação sob 21 solos distintos ($1 \text{ a } 14 \text{ mg dm}^{-3}$ de S) coletados em diferentes regiões do Brasil, verificaram resposta à adubação com S na maioria dos solos, nos quais todos os tratamentos com S resultaram em maior produção de matéria seca em relação ao controle. Neste caso, em todos os solos onde houve resposta ao S, a produção de matéria seca dos tratamentos com S_0 foi equivalente ao sulfato. Os autores concluíram que os solos

Tabela 2. Resultados médios para altura de plantas (AP), altura de espigas (AE) e produtividade de grãos (PROD), considerando as diferentes fontes de enxofre avaliadas nos experimentos.

Fontes de enxofre	AP (m)	AE (m)	PROD (Kg ha^{-1})
Sem enxofre	2,65 A	1,26 A	6625,44 A
Enxofre do sulfato de amônio	2,70 A	1,32 A	7084,25 A
Enxofre elementar	2,68 A	1,27 A	7015,05 A

As médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott aos 5% de probabilidade.

Tabela 3. Médias de produtividade de grãos na análise do desdobramento fontes de enxofre: ambientes.

Ambientes	Sem Enxofre	Enxofre do Sulfato de Amônio	Enxofre Elementar
Lavras	7558,17 Ba	8677,82 Aa	8446,00 Aa
Ijaci	5492,71 Ab	5690,68 Ab	5584,10 Aa

As médias seguidas de mesmas letras minúsculas na coluna e maiúscula na linha pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

com resposta ao S têm potencial para adubação com S_0 , resultando em produção semelhante à obtida com o sulfato, colaborando com os resultados do presente trabalho, em que não ocorreram diferenças entre as fontes de enxofre.

Foi relatada a resposta de algumas culturas em solo de baixo teor de S sob plantio direto à aplicação de enxofre em quatro doses de sulfato (0, 15, 30 e 60 $kg\ ha^{-1}$) e somente as culturas do nabo forrageiro e do milho responderam à aplicação de sulfato (Rheinheimer et al., 2005). A produtividade de grãos do milho no segundo cultivo aumentou com a aplicação de sulfato. Estudando o efeito da aplicação de misturas de grânulos e relações N:S, em cobertura nitrogenada, de ureia (U) e sulfato de amônio (SA), Lara Cabezas & Souza, 2008, encontraram que todos os tratamentos foram superiores em produtividade de grãos em relação à testemunha sem S e nitrogênio. Os resultados desses autores corroboram com os encontrados neste trabalho no solo de baixo teor de S, em que os tratamentos com S foram superiores em relação às testemunhas sem S.

Aumentos da produtividade de grãos de milho na recuperação de pastagem degradada também foram constatados quando se aplicaram doses crescentes de S (até 60 $kg\ ha^{-1}$ de S) em solo com 7 $mg\ dm^{-3}$ de S (Domingues et al., 2004). Em solos com baixo teor de S (< 4 $mg\ dm^{-3}$), houve aumentos na produtividade do milho, como os resultados obtidos por Miranda & Miranda (2008) com as doses 0, 15, 30 e 45 kg de S ha^{-1} utilizando gesso e um tratamento adicional de 15 $kg\ ha^{-1}$ de S_0 em cultivo convencional e direto em dois anos agrícolas. Assim como no presente trabalho, os autores verificaram que todos os tratamentos foram superiores em produtividade de grãos em relação à testemunha sem S.

Em trabalho sob casa de vegetação com quatro

cultivos consecutivos de milho, comprovou-se que o superfosfato triplo ao qual foi incorporado S_0 na forma de pó apresentou eficiência agrônômica crescente com o decorrer dos cultivos, atingindo índices de eficiência agrônômica superiores aos do gesso em pó e aos do superfosfato simples (fonte de S padrão) no terceiro e no quarto cultivos (Horowitz & Meurer, 2006). O superfosfato triplo revestido com S_0 fundido apresentou índices intermediários. Estes resultados indicam que a utilização do S_0 associado a fontes de fósforo granuladas apresenta potencial de utilização em áreas com baixos níveis do nutriente, porém necessitam de reposição de S, como o solo de baixo teor de S utilizado neste estudo.

Relataram-se ainda as eficiências do fosfato natural reativo e do superfosfato triplo associado ao S_0 em pó aplicados no sulco de plantio do milho com duas fontes de fósforo em quatro níveis de fertilizantes fosfatados (0, 100, 200 e 300 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5) e dois níveis de enxofre (0 e 30 $kg\ ha^{-1}$ de S_0). O índice de eficiência de uso do fertilizante apresentou melhores resultados na presença de S_0 na dose de 100 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 para ambas as fontes (Frandoloso et al., 2010). Adicionalmente, os autores verificaram que a resposta na produção de grãos foi superior nos tratamentos associados ao S_0 . Vale ressaltar que os resultados de produção do presente trabalho corroboram com todos os autores aqui mencionados, pois os tratamentos à base de S (sulfato e S_0) no solo de baixo teor de S foram semelhantes entre si e superiores à testemunha sem S. No solo de médio teor de S, todos os tratamentos foram semelhantes à testemunha sem S, pois não houve deficiência severa a ponto de prejudicar a produtividade de grãos e a utilização de enxofre na forma elementar não proporcionou redução nas características avaliadas. A utilização do S_0 revestindo o NPK apresenta potencial de utilização

em áreas que necessitam de reposição de S, como o solo de baixo teor de S utilizado no estudo.

Considerando os resultados médios da altura de plantas e da produtividade de grãos nas diferentes formas de fornecimento de micronutrientes, verificou-se que não houve diferenças entre as formas para as características agrônomicas (Tabela 4). A forma de fornecimento de micronutrientes via micro granulado ou micro revestindo o grânulo de adubo (Micro Total) não proporcionou diferenças significativas nas alturas de plantas e de espigas e na produtividade de grãos. É importante ressaltar que os teores de micronutrientes obtidos nas análises de solo realizadas previamente à instalação dos experimentos foram médios para o Boro e altos para os outros micronutrientes.

Entretanto, analisando o desdobramento da fonte de variação que avalia o efeito da interação

fontes de enxofre e formas de aplicação dos micros para a altura de plantas (Tabela 5), verifica-se que, para a forma micro granulado, o adubo com sulfato de amônio apresentou a maior altura em relação ao adubo com S₀ e à testemunha sem S. Para a forma de aplicação de micronutrientes grânulo revestido, os valores de altura de plantas foram semelhantes para as fontes de S, a maior altura na fonte enxofre do sulfato foi para a forma de aplicação micro granulado. Quando foi considerada a fonte enxofre elementar na forma de aplicação grânulo revestido, ocorreu a maior altura de plantas. Foram semelhantes às formas de aplicação dos micros nos tratamentos sem S.

Verificaram-se diferenças significativas entre os ambientes para todas as características agrônomicas testadas (Tabela 6). No ambiente Lavras, obteve-

Tabela 4. Resultados médios para altura de plantas (AP), altura de espigas (AE) e produtividade de grãos (PROD) considerando as diferentes formas de fornecimento de micronutrientes avaliados nos experimentos.

Forma dos micros	AP (m)	AE (m)	PROD (Kg ha ⁻¹)
Micro Granulado	2,66 a	1,26 a	7020,71 a
Grânulo Revestido	2,70 a	1,32 a	6795,78 a

As médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott aos 5% de probabilidade.

Tabela 5. Resultados médios de altura de plantas da análise do desdobramento fontes de enxofre: formas de aplicação dos micros, expressos em m.

Forma dos micros	Sem Enxofre	Enxofre do Sulfato de Amônio	Enxofre Elementar
Micro Granulado	2,60 Ab	2,80 Aa	2,57 Bb
Grânulo Revestido	2,71 Aa	2,61 Ba	2,78 Aa

As médias seguidas de mesmas letras minúsculas na coluna e maiúscula na linha dentro de cada adubo pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 6. Resultados médios para altura de plantas (AP), altura de espigas (AE) e produtividade de grãos (PROD) considerando os experimentos avaliados em Lavras e em Ijaci, MG.

Ambientes	AP (m)	AE (m)	PROD (kg ha ⁻¹)
Lavras	2,76 a	1,48 a	8227,33 a
Ijaci	2,60 b	1,08 b	5589,16 b

As médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott aos 5% de probabilidade.

se as maiores alturas de plantas e de espigas e ainda a maior produtividade de grãos. Essa superioridade pode ser devida aos bons níveis da maioria dos macronutrientes no solo, como P e K, ao alto teor de matéria orgânica no solo e ao fato de a área ser cultivada há mais de dez anos em cultivo de milho. O segundo experimento em Ijaci foi inferior, possivelmente devido ao fato de a área se encontrar em fase inicial de plantio direto, ou seja, apresentava-se no segundo ano de cultivo de milho após o cultivo de braquiária. A produtividade de grãos obtida nos experimentos conduzidos variou de 8227 a 5589 kg ha⁻¹, com média de 6908 kg ha⁻¹. Estes valores são considerados altos para a região em que os experimentos foram instalados, haja vista que a produtividade média da primeira safra de 2008 / 09 em Minas Gerais foi de 4.953 kg ha⁻¹ (CONAB, 2010).

Conclusões

As fontes de enxofre afetaram as características agrônomicas de modo semelhante e independem da forma de fornecimento dos micronutrientes.

As formas de fornecimento de micronutrientes via micro granulado ou micro revestindo o grânulo de adubo não proporcionam diferenças significativas na produtividade de grãos e nas alturas de plantas e de espiga.

Agradecimentos

À Capes, pela bolsa de Mestrado concedida ao primeiro autor. Ao CNPq, pelas bolsas concedidas aos outros autores. E à Fapemig, pelo apoio financeiro em pesquisas.

Referências

- CHIEN, S. H.; FRIESEN, D. K.; HAMILTON, B. W. Effect of application method on availability of elemental sulfur in cropping sequences. **Soil Science Society of American Journal**, v. 52, p. 165-169, 1988.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos: safra 2010/2011: intenção de plantio: segundo levantamento**. Brasília, DF, 2010. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/10_11_10_11_28_48_boletim_portugues_-_nov_de_2010.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2015.
- COWELL, L. E.; SCHOENAU, J. J. Stimulation of elemental sulfur oxidation by sewage sludge. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 75, p. 247-249, 1995.
- DOMINGUES, M. R.; BUZETTI, S.; ALVES, M. C.; SASSAKI, N. Doses de enxofre e de zinco na cultura do milho em dois sistemas de cultivo na recuperação de uma pastagem degradada. **Científica**, Jaboticabal, v. 32, p. 147-151, 2004.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, p. 36-41, 2008.
- FRANDOLOSO, J. F.; LANA, M. C.; FONTANIVA, S.; CZYCZA, R. V. Eficiência de adubos fosfatados associados a enxofre elementar na cultura do milho. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 57, p. 686-694, 2010.
- GERMIDA, J. J.; JANZEN, H. H. Factors affecting the oxidation of elemental sulfur in soils. **Fertilizer Research**, The Hague, v. 35, p. 101-114, 1993.
- HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Oxidação de enxofre elementar em solos tropicais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, p. 822-828, 2006.
- HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Relação entre atributos de solos e oxidação de enxofre elementar em quarenta e duas amostras de solos do Brasil.

- Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 3, p. 455-463, 2007. DOI: 10.1590/S0100-06832007000300005.
- JANZEN, H. H.; BETTANY, J. R. Measurement of sulfur oxidation in soils. **Soil Science**, Baltimore, v. 143, p. 444-452, 1987.
- LARA CABEZAS, W. R.; SOUZA, M. A. Volatilização de amônia, lixiviação de nitrogênio e produtividade de milho em resposta à aplicação de misturas de uréia com sulfato de amônio ou com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 6, p. 2331-2342, 2008. DOI: 10.1590/S0100-06832008000600012.
- LAVRES JÚNIOR, J.; MONTEIRO, F. A.; SCHIAVUZZO, P. F. Concentração de enxofre, valor SPAD e produção do capim-Marandu em resposta ao enxofre. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 3, n. 3, p. 225-231, 2008.
- MIRANDA, L. N. de; MIRANDA, J. C. C. de. **Adubação de enxofre para a cultura do milho sob plantio convencional e direto em solo de Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. 4 p. (Embrapa Cerrados. Comunicado técnico, 143).
- PROCHNOW, L. I.; FAIRCHILD, D.; OLSON, R.; LAMBAIS, M.; PEREIRA, J. Agronomic effectiveness of sources of sulfur in four Brazilian soils. In: INTERNATIONAL ANNUAL MEETINGS OF AMERICAN SOCIETY OF AGRONOMY, CROP SCIENCE SOCIETY OF AMERICA, SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA, 2007, New Orleans. **A century of integrating crops, soil and environment: abstracts**. Madison: ASA: CSSA: SSSA, 2007.
- REHM, G. W. Sulfur management for corn growth with conservation tillage. **Soil Science Society of American Journal**, v. 69, p. 709-717, 2005.
- RHEINHEIMER, D. S.; ALVAREZ, J. W. R.; FILHO, B. D. O.; SILVA, L. S.; BORTOLUZZI, E. C. Resposta de culturas à aplicação de enxofre e a teores de sulfato num solo de textura arenosa sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 562-569, 2005. DOI: 10.1590/S0103-84782005000300011.
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.
- SILVA, D. J.; ALVAREZ, V. H.; RUIZ, H. A. Fluxo de massa e difusão de enxofre para raízes de milho em solos ácidos de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, n. 1, p. 109-114, 1998. DOI: 10.1590/S0100-06831998000100015.
- SILVA, D. J.; VENEGAS, V. H. A.; RUIZ, H. A.; SANT'ANNA, R. Translocação e redistribuição de enxofre em plantas de milho e de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, n. 6, p. 715-721, 2003. DOI: 10.1590/S0100-204X2003000600007.
- STIPP, S. R.; CASARIN, V. A importância do enxofre na agricultura brasileira. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n. 129, p. 14-20, 2010.
- ZHAO, F. J.; LOKE, S. Y.; CROSLAND, A. R.; McGRATH, S. P. Method to determine elemental sulfur in soils applied to measure sulfur oxidation. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 28, p. 1083-1087, 1996.