



IVAN VILELA ANDRADE FIORINI

**RESPOSTA DA CULTURA DO MILHO A
DIFERENTES FONTES DE ENXOFRE E
FORMAS DE APLICAÇÃO DE
MICRONUTRIENTES**

LAVRAS - MG

2011

IVAN VILELA ANDRADE FIORINI

**RESPOSTA DA CULTURA DO MILHO A DIFERENTES FONTES DE
ENXOFRE E FORMAS DE APLICAÇÃO DE MICRONUTRIENTES**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Renzo Garcia Von Pinho

LAVRAS – MG

2011

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Fiorini, Ivan Vilela Andrade.

Resposta da cultura do milho a diferentes fontes de enxofre e
formas de aplicação de micronutrientes / Ivan Vilela Andrade
Fiorini. – Lavras : UFLA, 2011.

70 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2011.

Orientador: Renzo Garcia Von Pinho.

Bibliografia.

1. Adubação. 2. Fertilizantes. 3. Enxofre elementar. 4. Sulfato de
amônio. 5. Nutrientes. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 633.1589

IVAN VILELA ANDRADE FIORINI

**RESPOSTA DA CULTURA DO MILHO A DIFERENTES FONTES DE
ENXOFRE E FORMAS DE APLICAÇÃO DE MICRONUTRIENTES**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 18 de fevereiro de 2011.

Dr. Carlos Alberto Silva UFLA

Dr. Antônio Alves Soares UFLA

Dr. Renzo Garcia Von Pinho
Orientador

LAVRAS – MG
2011

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo de bom e por abençoar todo este trabalho.

Aos meus pais, Márcio e Nilma, meus irmãos Cibelle e Fabrício.

Ao meu irmão Fabrício, por toda amizade e apoio na condução de todo trabalho.

Aos meus sobrinhos Henrique e Carolina e a todos os amigos e familiares, pelo apoio e incentivo.

Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Agricultura, pela oportunidade de realização do mestrado.

A CAPES, pela concessão das bolsas de estudos e à HERINGER S. A., pela doação de adubos e financiamento de parte desta pesquisa.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Renzo Garcia Von Pinho, pelos ensinamentos, apoio e pela amizade desde os tempos de graduação.

Aos amigos do grupo do milho: Adriano Delly, Álvaro, Ariel, Calil, Diego, Guilherme, Márcio, Marco Antônio, Mateus, Rafael, Rodolfo e Victor, pela amizade, apoio, ajuda e dedicação nos trabalhos conduzidos.

Aos funcionários do setor de Grandes Culturas, Agnaldo, Alessandro, Manguinha e à secretária da Pós-Graduação Marli, pela amizade e ajuda na condução dos experimentos.

À secretária da Pós-Graduação Marli, por toda ajuda e incentivo durante o curso.

Aos amigos pessoais e do mestrado: Renato, Johny, Fábio Fonseca, Fábio Guerreiro, Fábio Salomé, Adriano da Silva, Humberto, Everson, Damiany, Gabriella, Guilherme, José Maria, Rodrigo, Sindynara e Tathiane, pela convivência e amizade durante todo o período de mestrado.

A todos que colaboraram para a conclusão do curso e que embora não tenham sido citados, merecem todos os agradecimentos.

RESUMO

Com o objetivo de avaliar a marcha de absorção de nutrientes, matéria seca e a eficiência agrônômica de fertilizantes na cultura do milho associados a duas fontes de enxofre e duas formas de micronutrientes, foram conduzidos experimentos em casa-de-vegetação e no campo. Em casa-de-vegetação foi utilizado o híbrido DKB390 avaliado sob delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 (solos) x 3 (adubos) x 6 (estádios fenológicos) com três repetições. Foram utilizados, o solo de cultivo de área de monocultivo de milho e o solo de barranco nunca cultivado. Foi utilizado três tipos de adubos formulados (NPK) associados ao enxofre (sulfato de amônio ou enxofre elementar) e a testemunha sem S. Foram avaliados o acúmulo de nutrientes nas folhas, matérias secas da parte aérea e raiz. Os dados foram coletados em seis estádios: E1 (6 folhas), E2 (10 folhas), E3 (14 folhas), E4 (pendoamento), E5 (florescimento) e E6 (maturidade fisiológica). Os adubos utilizados proporcionaram diferenças na matéria seca da parte aérea e nos acúmulo de nitrogênio, enxofre e magnésio. O acúmulo de enxofre na forma elementar no milho é semelhante à obtida com o enxofre do sulfato de amônio. O enxofre elementar proporcionou resultados superiores ao adubo sem enxofre e semelhantes ao adubo com sulfato de amônio. Em condições de campo foram conduzidos um experimento em Lavras - MG e um Ijaci - MG em plantio direto instalados em nov/2009. O experimento em sistema convencional foi instalado em dez/2009 em Lavras-MG. O delineamento foi de blocos casualizados com cinco 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 formas de fornecimento dos micronutrientes. As diferentes fontes de enxofre afetam as características de modo semelhante e independem da forma 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 comprometerá a eficiência agrônômica dos fertilizantes.

Palavras-chave: *Zea mays*. Fertilizantes. Enxofre elementar. Micronutrientes.

ABSTRACT

With the purpose of evaluating the rate of absorption of nutrients dry matter and agronomic efficiency of fertilizers in corn crop associated to two sources of sulfur and two forms of micronutrients, experiments were conducted in both greenhouse and field. In greenhouse was utilized hybrid DKB390 evaluated under a completely randomized design in factorial scheme 2 (soils) x 3 (fertilizers) x 6 (phenological stages) with three replicates. The soil of cultivating of corn monoculture area and the ravine soil never cultivated were utilized. Three types of formulated fertilizers (NPK), associated with sulfur (ammonium sulfate or elemental sulfur) and the control without S, were used. The accumulation of nutrients in the leaf, shoot and root dry matters was evaluated. The data were collected at six stages: E1 (6 leaves), E2 (10 leaves), E3 (14 leaves), E4 (tasseling), E5 (flowering) and E6 (physiological maturity). The fertilizers provided differences in the shoot dry matter and in the accumulations of nitrogen, sulfur and magnesium. The accumulation of sulfur in the elementary form in corn is similar to that obtained with the sulfur of ammonium sulfate. Elemental sulfur provided results superior to the fertilizer without sulfur and similar to the fertilizer with ammonium sulfate in Lavras–MG and one in um Ijaci–MG in no-tillage planting established in November/2009. The experiment in conventional system was established in December/2009 in Lavras–MG. The design was in randomized blocks with five replicates in factorial scheme 3 x 2, that is, 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 found for sources of sulfur and forms of supplying micronutrients. The different sources of sulfur affect the characteristics in a similar way and do not depend on the form of the micronutrients. The replacement of sulfur coming from ammonium sulfate by elemental sulfur in NPK fertilizers or even the absence of this in fertilizers will not endanger the agronomic efficiency of fertilizers.

Keywords: *Zea mays*. Fertilizers. Elemental sulfur. Micronutrients.

SUMÁRIO

	CAPÍTULO 1	8
1	INTRODUÇÃO GERAL	8
2	REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1	Extração de nutrientes pela planta de milho	10
2.2	A importância do enxofre para as plantas	11
2.3	Absorção e translocação de enxofre nas plantas	13
2.4	Uso do enxofre elementar em fertilizantes	16
2.5	Importância e formas de fornecimento de micronutrientes	18
	REFERÊNCIAS	20
	CAPÍTULO 2 Marcha de absorção de nutrientes e acúmulo de matéria seca em milho em função de adubos com diferentes fontes de enxofre	22
1	INTRODUÇÃO	24
2	MATERIAL E MÉTODOS	26
2.1	Instalação e condução do experimento	26
2.2	Características avaliadas	29
2.2.1	Matéria seca da parte aérea	29
2.2.2	Matéria seca da raiz	29
2.2.3	Acúmulo de nutrientes na folha	30
2.3	Análises estatísticas	31
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
3	CONCLUSÕES	45
	REFERÊNCIAS	46
	CAPÍTULO 3 Avaliação da eficiência agronomica de fertilizantes com diferentes fontes de enxofre e formas de fornecimento de micronutrientes na cultura do milho	48
1	INTRODUÇÃO	50
2	MATERIAL E MÉTODOS	52
2.1	Instalação e condução dos experimentos	52
2.2	Detalhes experimentais	53
2.3	Análises de solos e adubação	54
2.4	Características avaliadas	56
2.5	Análise estatística	57
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
4	CONCLUSÕES	66
	REFERÊNCIAS	67
	APÊNDICES	69

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO GERAL

Fórmulas comerciais que têm altas concentrações de NPK utilizam matérias-primas com baixos teores de enxofre como, por exemplo, superfosfato triplo, que contém somente cerca de 1% de S-sulfato. O uso do enxofre elementar (S_0) como fertilizante associado a formulados NPK, pode reduzir os custos de adubação em solos deficientes em enxofre. Assim, em solos deficientes em enxofre, a adição de quantidades adequadas deste nutriente é realizada com a utilização de fertilizantes com baixa concentração em NPK, o que acarreta aumento dos custos com o frete, com o armazenamento e com a aplicação (STIPP; CASARIN, 2010).

O aumento da produtividade, o uso de fertilizantes com alta concentração de NPK, o baixo teor de S nas formulações, o uso de híbridos que extraem mais enxofre do solo e a diminuição dos níveis de matéria orgânica no solo, que é fonte natural de enxofre contribuem para a demanda de enxofre (S). A deficiência de S na agricultura ocorre em diversas regiões do Brasil, em razão da baixa fertilidade do solo, associada à pequena quantidade de matéria orgânica, do aumento da exportação de S pelos grãos, causados por produtividade elevada das variedades melhoradas, e da lixiviação de sulfato, acentuada pela aplicação de calcário e fósforo (MALAVOLTA, 1982).

Devido à necessidade da redução dos custos na agricultura brasileira, é importante utilizar fontes de enxofre que possibilitem a sua adição, em teores adequados, em formulações comerciais com alta concentração em NPK. Entre estas fontes destaca-se o enxofre elementar, com 99% de S, que pode possibilitar a obtenção de fertilizantes com alta concentração de nutrientes NPK e com alto teor de enxofre. Por exemplo, uma fórmula 00-20-20 produzida com as

matérias-primas convencionais tem ao redor de 5% de S; para adubar um hectare com 80 kg de P_2O_5 , 80 kg de K_2O e 20 kg de S são necessários à aplicação de 400 kg ha^{-1} desta fórmula. Esta quantidade pode ser reduzida para 333 kg ha^{-1} utilizando-se S-elementar na produção de uma fórmula 00-24-24 que conterá 6% de enxofre, o que representa uma redução de 17% na quantidade do fertilizante a aplicar e, conseqüentemente, um menor custo com frete, armazenamento e aplicação para as mesmas quantidades de nutrientes (STIPP; CASARIN, 2010).

No Brasil há poucos trabalhos de pesquisa evidenciando a utilização do S-elementar como principal fonte de S em fertilizantes comerciais. Há a necessidade de se verificar se a marcha de absorção deste nutriente fornecido na forma elementar é semelhante quando este advém de outras fontes e a eficiência agrônômica de fertilizantes contendo S-elementar em relação a outras fontes.

Dessa forma, os objetivos deste trabalho foram: avaliar a absorção do enxofre elementar revestindo o grânulo de adubo, comparado ao enxofre do sulfato de amônio, fornecido via adubos formulados NPK por meio de análises foliares, acúmulo de nutrientes e matéria seca em vários estádios fenológicos do milho em condições de casa-de-vegetação. Objetivou-se ainda avaliar a eficiência agrônômica em condições de campo desses fertilizantes NPK com diferentes fontes de enxofre associado a micronutrientes fornecidos na forma granulada ou micronutrientes revestido no grânulo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Extração de nutrientes pela planta de milho

A maior parte do peso seco de um vegetal consiste de materiais orgânicos resultantes da fotossíntese e processos subseqüentes. Os elementos nutricionais que a maioria das plantas necessita para completar seu ciclo são: C, O, H (fornecidos através do ar e da água), N, P, K, Ca, Mg, S (macronutrientes), B, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn (micronutrientes). As necessidades nutricionais do milho, assim como de qualquer planta, são determinadas pelas quantidades totais de nutrientes absorvidos. O conhecimento dessas quantidades permite estimar as taxas que serão exportadas através da colheita dos grãos e as que poderão ser restituídas ao solo através dos restos culturais (BULL; CANTARELLA, 1993).

Bull e Cantarella (1993) trazem uma marcha de absorção de nutrientes para cinco variedades de milho e afirmam que de modo geral o pico de absorção de N ocorre aos 80 dias após a germinação e que a quantidade requerida é de 180 Kg de N ha⁻¹; para o P e o K, o pico de absorção ocorre entre 80-100 e 75 dias, respectivamente e a quantidade requerida é de 30 Kg ha⁻¹ para P e 218 Kg ha⁻¹ para K. Para Ca, Mg e S o pico ocorre aos 80-90, 80 e 80-90 dias respectivamente e as quantidades requeridas por hectare são de 34 Kg para o Ca e Mg e 32 Kg para o S. Para os micronutrientes Mn e Zn o pico de absorção ocorre aos 80 dias após a germinação e as quantidades requeridas são de 656 e 332 g ha⁻¹, respectivamente. Já o Fe e o Cu o pico de absorção é mais tardio, ocorrendo somente aos 100 dias, sendo que a exigência do Fe é de 1.610 g ha⁻¹ e de Cu é de 150 g ha⁻¹.

Segundo Bull e Cantarella (1993) as quantidades de nutrientes absorvidas no início do ciclo da planta são pequenas, mas as concentrações de nutrientes no solo que circunda as raízes da planta naquele estágio geralmente

devem ser altas. Uma informação importante para a realização de parcelamento de adubações, principalmente a nitrogenada e a potássica, na cultura do milho é que a absorção do potássio é completada logo após o florescimento, enquanto a de N continua até próximo da maturidade fisiológica. Uma das formas de se aumentar a produtividade de uma cultura é, sem dúvida, a nutrição mineral adequada, através de programas de adubação que considerem, além da quantidade de fertilizante fornecida, também o balanço entre os nutrientes requeridos, no momento certo, aliado às condições climáticas.

2.2 A importância do enxofre para as plantas

O reconhecimento do enxofre como nutriente necessário às plantas ocorreu há mais de 200 anos. A sua deficiência é fator limitante da produção agrícola em extensas áreas do Brasil, notadamente na região dos Cerrados. As fontes de enxofre mais utilizadas na adubação são o superfosfato simples (12% de S-sulfato) e o sulfato de amônio (24% de S-sulfato), isoladamente ou como componentes de fórmulas comerciais com baixa concentração em NPK. O enxofre, assim como outros nutrientes, apresenta significativa importância no desenvolvimento das plantas, por fazer parte da constituição protéica, síntese de clorofila, formação de ferredoxina, entre outros constituintes (ALVAREZ et al., 2007).

No entanto, as pesquisas com este elemento tiveram início no Brasil na década de 50, pois até então não era dada a devida importância ao elemento em função dos solos apresentarem teores consideráveis. Entretanto, com o cultivo intensivo os estoques foram decrescendo e atualmente, diversos trabalhos indicam a eficiência da aplicação de S para a cultura do milho, tanto nos solos do Brasil como em outros países (YAMADA; ALBADALLA; VITTI, 2007). O S predomina no solo na fração orgânica, representando mais de 90 % do total do

S presente no solo. Além da matéria orgânica do solo influenciar na sua dinâmica e disponibilidade às plantas, a disponibilidade de S é afetada pelos teores de P, onde competem por sítios de adsorção nos colóides minerais, assim como diretamente relacionado com a aplicação de N no solo. O enxofre é geralmente aplicado como fertilizante em culturas comerciais na forma de sulfato (SO_4^{2-}).

Em anos passados, o cultivo do milho em solos ricos em matéria orgânica, o uso de fórmulas de fertilizantes menos concentradas contendo enxofre e os baixos níveis de produtividade contribuíram para minimizar problemas de deficiência de enxofre. Atualmente com o uso de fórmulas de adubos concentrados, sem enxofre, as respostas a esse elemento tendem a aumentar. Assim solos com teores de enxofre inferiores a 10 ppm, o milho pode apresentar resposta a esse nutriente. A extração de enxofre pela planta de milho é pequena e varia de 15 aos 30 kg ha^{-1} , para produções de grãos em torno de 5 a 7 t. ha^{-1} (COELHO; FRANÇA, 1995).

O enxofre (S) é constituinte de compostos de planta (acetil-CoA, Glutathiona, etc) e, como o N, é constituinte das proteínas (o S é encontrado nos aminoácidos cisteína e metionina). A deficiência de S pode não apresentar sintomas visuais, sendo visível apenas quando severa. Assim, por exercerem funções semelhantes, muitos dos sintomas de deficiência de S são semelhantes aos apresentados pela deficiência de N, incluindo clorose, redução no crescimento e acúmulo de antocianina. A clorose, no entanto, aparece primeiro nas folhas mais jovens, o que é conseqüência da baixa mobilidade do S no floema da planta. Todavia, em algumas plantas a clorose ocorre ao mesmo tempo em todas as folhas ou pode até iniciar nas folhas mais velhas (TAIZ; ZIEGLER, 2004).

Junto com o N o S está presente em todas as funções vitais, incluindo o controle hormonal, que são parte do crescimento da planta e produção da planta.

A relação N/S deve ser na ordem de 12-15/1, associada ao crescimento da planta e produção da planta. O aumento no teor de N no tecido da planta é dependente do fornecimento de S e o aumento da produtividade do milho está intimamente ligado ao correto suprimento de N e S para a formação de aminoácidos e proteínas essenciais a planta (STIPP; CASARIN, 2010).

O S possui ainda papel de defesa nas plantas contra pragas e doenças, devido a grande variedade de compostos secundários que contém N e S em sua estrutura. Embora o uso de S_0 como fungicida seja antigo, recentemente foi demonstrado que a planta pode gerar S_0 endógeno, como mecanismo de defesa contra o patógeno (STIPP; CASARIN, 2010).

O íon sulfato é a principal forma de S absorvida pelas plantas. Depois de ser absorvido, o sulfato é reduzido e incorporado em aminoácidos que são redistribuídos para as partes da planta em crescimento (SILVA et al., 2003).

A ausência de sintomas não significa que o nível de S disponível no solo seja o adequado. Podem ocorrer perdas através da fome oculta, ou seja, a planta não apresenta os sintomas de deficiência, mas pode haver diminuição na produtividade (HOROWITZ; MEURER, 2005).

2.3 Absorção e translocação de enxofre nas plantas

O sulfato é translocado através do xilema para as folhas, onde é incorporado a esqueletos carbônicos. O transporte de sulfato pode ocorrer tanto no xilema quanto no floema. A absorção de sulfato e o carregamento de sulfato no xilema são processos independentes, mediados por diferentes sistemas de transporte. O carregamento no xilema é controlado mais pela demanda da parte aérea do que pela absorção de S. A transferência de sulfato e de compostos contendo S reduzido entre o xilema e o floema é particularmente importante no transporte de S, uma vez que esse nutriente é retido nas folhas velhas com maior

intensidade do que em outras partes da planta. Herschbach, De Kok e Rennenberg (1995). comentam que o floema deve ter uma capacidade considerável de transportar S, uma vez que a redução do sulfato ocorre, principalmente, nas folhas, e as raízes são amplamente dependentes dessa via de transporte para a aquisição de aminoácidos contendo enxofre. Contudo, a entrada de sulfato no floema é restrita e a sua manutenção nas folhas velhas, mesmo sob condições de estresse de S, deve estar relacionada com esse fato. Essa imobilidade a partir das folhas velhas é um dos aspectos mais enigmáticos do papel do S na fisiologia da planta.

O milho, apesar de apresentar maior absorção de S por grama de matéria seca de raiz, retém a maior parte desse S na própria raiz (SILVA et al., 2003). Porém, para que o S-elementar possa se tornar disponível para as plantas ele deve ser oxidado a S-sulfato, que é a forma que as plantas absorvem este nutriente (JANSEN; BETTANY, 1987). A oxidação do S-elementar é realizada, principalmente, por microrganismos específicos do solo. Vários grupos de microrganismos podem oxidar o S-elementar no solo, e eles são divididos em: quimioautotróficos, como, por exemplo, as bactérias do gênero *Thiobacillus*; fotoautotróficos e heterotróficos (bactérias e fungos). Como a maioria dos processos mediados por microrganismos, a taxa de oxidação do S-elementar é afetada pela temperatura. A oxidação do S-elementar é afetada por propriedades físicas do solo. Em algumas investigações, as taxas de oxidação foram inversamente relacionadas ao teor de argila e diretamente relacionada ao teor de areia (GERMIDA; JANSEN, 1993).

O efeito positivo do pH mais elevado está, possivelmente, relacionado à capacidade do solo em tamponar o ácido sulfúrico formado na oxidação que, se acumulado em altas concentrações, inibe a atividade dos microrganismos que transformam S-elementar em S-sulfato (JANSEN; BETTANY, 1987).

A taxa de oxidação do S-elementar é relacionada ao potencial da água do solo (JANSEN; BETTANY, 1987). As taxas máximas ocorrem ao redor da capacidade de campo. Em condições de baixa umidade no solo, a oxidação é limitada por insuficiência de água para a atividade microbiana. Contrariamente, em solos com alto teor de água, a oxidação é limitada por inadequada aeração. Vários estudos demonstraram o efeito positivo entre a taxa de oxidação do S-elementar e o teor de matéria orgânica do solo. Isto pode ser atribuído à resposta de organismos heterotróficos que oxidam o S-elementar utilizando o substrato disponível como fonte de energia (COWELL; SHOENAU, 1995).

A fertilidade do solo pode influir na oxidação do S-elementar, embora este efeito, freqüentemente, seja de pouca magnitude ou inconsistente. A ausência de uma relação bem definida entre a oxidação do S elementar e as várias propriedades físicas e químicas do solo não implica, necessariamente, que estes efeitos não sejam importantes (STIPP; CASARIN, 2010).

É provável que a oxidação seja governada pela interação e integração destes fatores e não apenas por um fator isolado, exceto em casos extremos (GERMIDA; JANSEN, 1993). Em geral, observa-se que os fatores de solo que têm efeito estimulante na oxidação do S-elementar são coincidentes com os que promovem um bom desenvolvimento das plantas.

Reduzindo-se o tamanho da partícula do S-elementar adicionado ao solo ocorre um aumento acentuado na taxa de oxidação, devido ao aumento da área superficial das partículas, o que favorece o contato com os microrganismos oxidantes (WAIWRIGHT, 1984). De maneira geral, considera-se que, para uma rápida oxidação do S-elementar a ser aplicado, as partículas deste fertilizante devam ser de tamanho inferior a 0,15 mm.

Com o aumento progressivo da dispersão das partículas do S-elementar no solo, a taxa de oxidação também aumenta. A oxidação lenta de partículas pouco dispersas no solo tem significativa importância para a eficiência de

fertilizantes que contenham S-elementar. Vários estudos têm demonstrado que as maiores taxas de oxidação de um fertilizante com S-elementar ocorreram quando este foi misturado ao solo, ao invés de ter sido colocado em faixas (CHIEN; FRIESEN; HAMILTON, 1988).

2.4 Uso do enxofre elementar em fertilizantes

Em diversos países, fertilizantes contendo S-elementar vêm sendo utilizados de forma crescente. Fertilizantes com S-elementar são comercializados em países como Canadá, Austrália e Nova Zelândia. Estes incluem o S-elementar sob várias formas: puro (como pó), incorporado a fertilizantes granulados, granulado com agentes dispersantes e em suspensões aquosas para aplicação em sistemas de irrigação (ZHAO et al., 1996).

O Brasil consome cerca de 1,6 milhões de toneladas anuais de S-elementar, importando cerca de 90%. O S é matéria-prima na agricultura brasileira que consome 53% dessa produção e o consumo está relacionado à produção de ácido sulfúrico, que é destinado cerca de 70% para produzir ácido fosfórico e fertilizantes (STIPP; CASARIN, 2010).

A incorporação de S-elementar a fertilizantes convencionais, como uréia e superfosfato triplo, é outra forma de aumentar o teor do nutriente em formulações NPK. Para adubos fosfatados, principalmente o superfosfato triplo, é viável adicionar o S-elementar através de diferentes tipos de processos industriais. Porém, a forma de incorporação do S-elementar ao superfosfato triplo terá repercussões na eficiência agrônômica do fertilizante (STIPP; CASARIN, 2010). Entre as formas de incorporações, destacam-se: a) o recobrimento do fertilizante previamente granulado com S-elementar fundido e b) incorporação do S-elementar em pó durante a granulação do superfosfato.

Watkinson (1989), afirma que a incorporação de S-elementar aos superfosfatos aumenta a sua taxa de oxidação. Isto tem sido atribuído ao aumento da umidade ao redor das partículas de S-elementar e à presença de fósforo, que favorecem a oxidação pelos microrganismos do solo. Porém, o método de incorporação do S-elementar ao superfosfato pode afetar o tamanho das partículas no interior do grânulo do fertilizante e a sua dispersão no solo, afetando a sua eficiência.

Horowitz (2003) demonstrou que 42 amostras de solo de diferentes regiões do Brasil têm capacidade de oxidar S-elementar, porém com variáveis taxas de oxidação. Além disto, o mesmo autor, trabalhando em casa de vegetação com quatro cultivos consecutivos de milho, comprovou que fontes de S-elementar granuladas com agentes dispersantes (Tiger 90CR e Sulfer 95) tiveram baixa eficiência. O superfosfato triplo ao qual foi incorporado S-elementar na forma de pó apresentou eficiência agrônômica crescente com o decorrer dos cultivos, atingindo índices de eficiência agrônômica (IEA) superiores ao do gesso em pó e ao do superfosfato simples (fonte de S padrão) no terceiro e no quarto cultivo. O superfosfato triplo revestido com S-elementar fundido apresentou índices intermediários. Estes resultados indicam que a utilização do S-elementar associado a fontes de fósforo granuladas apresentam potencial de utilização em áreas com níveis adequados do nutriente, porém que necessitam de reposição de enxofre. Os autores deste trabalho julgam que os solos de muitas regiões do território brasileiro apresentam condições favoráveis para a oxidação do S-elementar a S-sulfato (STIPP; CASARIN, 2010).

É muito provável que o S-elementar apresente alta eficiência agrônômica nesses solos, principalmente se aplicado na forma de pó. Acreditam, igualmente, que existe excelente perspectiva, embora novas pesquisas sobre o tema sejam necessárias, para a fabricação de fertilizantes granulados que contenham S-elementar, possibilitando a obtenção de fórmulas com altas

concentrações em NPK e em enxofre, o que resultaria numa significativa redução de custos ao produtor (STIPP; CASARIN, 2010).

O gesso agrícola (15 a 18% de S), o super simples (10 -12 % de S), o enxofre elementar (95-98% de S), o enxofre elementar peletizado (90% de S), o sulfato de amônio (22-24% de S) e o uso de formulações de fertilizantes contendo S, são eficientes no suprimento de S para as plantas (STIPP; CASARIN, 2010). Segundo Broch e Ranno (2007) as doses de S necessárias para o cultivo de milho também podem ser calculadas pela seguinte expressão: Dose (Kg ha⁻¹ de S) = 40 – (ppm de S-sulfato no solo x 4).

Pesquisas demonstraram que a forma elementar do enxofre (S₀) pode ser considerada fertilizante, desde que as condições do solo, fonte e cultura na qual o elemento for aplicado, permitam a conversão da forma elementar para sulfato. Existe a possibilidade de em alguns solos, o S₀ se tornar mais eficiente que o SO₄²⁻ em função do efeito residual. Portanto, há necessidade de mais estudos para melhorar o entendimento da dinâmica do S no solo e verificar a sua eficiência em diferentes solos (ALVAREZ et al., 2007).

2.5 Importância e formas de fornecimento de micronutrientes

Em relação aos micronutrientes, as quantidades requeridas pelas plantas de milho são muito pequenas. Entretanto, a deficiência de um deles pode ter tanto efeito na desorganização de processos metabólicos quanto a deficiência de um macronutriente como, por exemplo, o nitrogênio (COELHO; FRANÇA, 1995).

Com relação aos métodos de aplicação, os micronutrientes podem ser aplicados no solo, na parte aérea das plantas, principalmente através da adubação foliar, nas sementes e através da fertirrigação. O método de aplicação, a solubilidade, a forma física (pó ou grânulo) das fontes de micronutrientes e

certas condições de solo podem interagir de modo a resultar em maior ou menor efeito da adubação na correção de deficiências na produção de grãos (COELHO; FRANÇA, 1995).

Entre as formas de incorporações de micronutrientes, destaca-se: o recobrimento do fertilizante previamente granulado com micronutrientes fundidos no grânulo (grânulo revestido) e incorporação dos micronutrientes em pó (micro granulado) durante a granulação do fertilizante (HERINGER S. A, 2011).

A forma de micronutrientes grânulos revestidos (Micro Total) possui micronutrientes de alta solubilidade revestindo todos os grãos do formulado NPK. Estes micronutrientes que recobrem 100% dos grânulos NPK dos fertilizantes em qualquer quantidade e em qualquer combinação, envolvem o nitrogênio, o fósforo e o potássio nas formulações ou em matérias-primas. Após a agregação dos micros, o fertilizante recebe um banho de óleo vegetal para melhor fixação dos mesmos. Essa qualidade física garante uniformidade de aplicação na área a ser cultivada, pois evita segregação dos micronutrientes durante o transporte e uso. Foi desenvolvida para lavouras de alto potencial produtivo, o que gera maior retorno econômico em áreas deficientes em micronutrientes (HERINGER S. A, 2011).

Entre os principais benefícios da tecnologia micronutrientes no grânulo revestido (Micro Total), destaca-se: a nutrição da lavoura, sendo que os micronutrientes estão altamente disponíveis e bem distribuídos. Uniformidade da lavoura, com a eliminação da segregação dos micronutrientes. Menor necessidade de complementação de nutrientes, sendo que o fornecimento de micronutrientes de alta qualidade e com boa distribuição reduz a necessidade de complementações de outras fontes durante o ciclo da cultura. Economia de mão de obra, com a aplicação de NPK + micronutrientes em uma única aplicação (HERINGER S. A, 2011).

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, V. H. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 595-644.
- BROCH, D. L.; RANNO, S. K. **Tecnologia e produção-milho 2007-2008: adubação com enxofre e interpretação da análise foliar**. Dourados: Fundação Mato Grosso do Sul, 2007. p. 149-150.
- BULL, L. T.; CANTARELLA, H. **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafós, 1993. 301 p.
- 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**, Madison, v. 52, p. 165-169, 1988.
- COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. Nutrição e adubação: seja doutor do seu milho. **Arquivo do Agrônomo**, Piracicaba, n. 2, p. 1-9, set. 1995.
- COWELL, L. E.; SCHOENAU, J. J. Stimulation of elemental sulphur oxidation by sewage sludge. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 75, p. 247-249, 1995.
- GERMIDA, J. J.; JANZEN, H. H. Factors affecting the oxidation of elemental sulfur in soils. **Fertilizer Research**, Wageningen, v. 35, p. 101-114, 1993.
- HERINGER S. A. 2011. Disponível em: <<http://www.heringer.com.br/produtos/fhmicrototal>>. Acesso em: 20 fev. 2011.
- HERSCHBACH, C.; DE KOK, L. J.; RENNENBERG, H. Net uptake of sulphate and its transport to shoot in tobacco plants fumigated with H₂S or SO₂. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 175, n. 1, p. 75-84, Aug. 1995.
- HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Uso do enxofre elementar como fertilizante. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 112, p. 4-7, dez. 2005.
- HOROWITZ, N. **Oxidação e eficiência agrônômica do enxofre elementar em solos do Brasil**. 2003. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

JANZEN, H. H.; BETTANY, J. R. Measurement of sulfur oxidation in soils. **Soil Science**, Baltimore, v. 143, n. 6, p. 444-452, 1987.

MALAVOLTA, E. **Nitrogênio e enxofre nos solos e culturas brasileiras**. São Paulo: Centro de Pesquisa e Promoção do Sulfato de Amônio, 1982. 59 p.

SILVA, D. J. et al. Translocação e redistribuição de enxofre em plantas de milho e de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 6, p. 715-721, jun. 2003.

STIPP, S. R.; CASARIN, V. A importância do enxofre na agricultura brasileira. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n. 129, p. 14-20, mar. 2010.

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

WAIWRIGHT, M. Sulfur oxidation in soils. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 37, p. 349-396, 1984.

WATKINSON, J. H. Measurement of the oxidation rate of elemental sulfur in soil. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 27, p. 365-375, 1989.

YAMADA, T.; ALBADALLA, S. R. S.; VITTI, C. **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI, 2006. 722 p.

ZHAO, F. J. et al. Method to determine elemental sulphur in soils applied to measure sulphur oxidation. **Soil Biology e Biochemistry**, Oxford, v. 28, n. 8, p. 1083-1087, 1996.

CAPÍTULO 2

Marcha de absorção de nutrientes e acúmulo de matéria seca em milho em função de adubos com diferentes fontes de enxofre

RESUMO

O experimento foi instalado em novembro de 2008 em casa-de-vegetação, na UFLA, em Lavras - MG. O objetivo foi avaliar a marcha de absorção de nutrientes e a eficiência do enxofre elementar revestindo o grânulo de adubo NPK, comparado ao enxofre do sulfato de amônio, associados ou não ao NPK e ainda o incremento em matéria seca em função dessas duas fontes de enxofre. O delineamento foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 (tipos de solo) x 3 (tipos de adubos) x 6 (estádios) com três repetições. Foram utilizados dois tipos de solo, o solo de cultivo (coletado em área de monocultivo de milho) e o solo de barranco nunca antes cultivado. Foram utilizados três tipos de adubos formulados (NPK) associados ao enxofre (sulfato de amônio ou enxofre elementar) ou não (testemunha sem S). Foi avaliado o acúmulo de matéria seca da parte aérea, matéria seca da raiz e de nutrientes nas folhas. Os dados foram coletados em seis estádios fenológicos: E1 (6 folhas), E2 (10 folhas), E3 (14 folhas), E4 (pendoamento), E5 (florescimento) e E6 (maturidade fisiológica). Constatou-se diferenças significativas para as fontes de variação tipo de solo, estádios fenológicos e interação tipos de solo e estádios fenológicos, para a maioria dos nutrientes. Os tipos de adubos utilizados proporcionam diferenças na matéria seca da parte aérea e no acúmulo de nitrogênio, enxofre e magnésio. Para essas características o adubo com enxofre na forma elementar proporciona resultados superiores ao adubo sem enxofre e semelhantes ao adubo com enxofre na forma de sulfato de amônio. O enxofre elementar proporciona incremento em matéria seca da parte aérea em relação ao enxofre do sulfato de amônio e a testemunha sem enxofre. O enxofre na forma elementar no desenvolvimento da planta de milho é semelhante ao enxofre proveniente do sulfato de amônio, sendo que as curvas de absorção de S são semelhantes para as fontes testadas. O adubo contendo enxofre na forma elementar pode substituir adubos contendo enxofre na forma de sulfato de amônio sem interferir no acúmulo de matéria seca e de nutrientes na planta de milho, independentemente do tipo de solo e do estágio fenológico.

Palavras-chave: *Zea mays*. Fertilizantes. Enxofre elementar. Sulfato de amônio.

ABSTRACT

The experiment was established in November of 2008 in greenhouse at the UFLA in Lavras-MG. The objective was evaluating the nutrient absorption rate and the efficiency of elemental sulfur coating the granule of NPK fertilizer, compared with the sulfur of ammonium sulfate associated or not to NPK and further the increase in dry matter related to those two sources of sulfur. The design was the completely randomized in factorial scheme 2 (types of soil) x 3 (types of fertilizers) x 6 (stages) with three replicates. Two types of soil, the growing soil (collected in corn monoculture area) and groove soil never previously cultivated, were used. Three sorts of formulated fertilizers (NPK) associated to sulfur (ammonium sulfate or elemental sulfur) or not (control without S) were utilized. The accumulation of shoot dry matter, root dry matter and of nutrients in leaves was evaluated. The data were collected at six phenological stages: E1 (6 leaves), E2 (10 leaves), E3 (14 leaves), E4 (tasseling), E5 (flowering) and E6 (physiological maturity). Significant differences for the sources of variation: type of soil, phenological stages and interaction soil types and phenological stages, for most of nutrients. The types of utilized fertilizers provided differences in shoot dry matter and in the accumulation of nitrogen, sulfur and magnesium. For those characteristics, the fertilizer with sulfur in the elemental form provides results superior to the fertilizer without sulfur and similar to the fertilizer with sulfur in the form of ammonium sulfate. Elemental sulfur provides increase in shoot dry matter in relation to the sulfur of ammonium sulfate and the control without sulfur. Sulfur in the elemental form in the development of corn plant is similar to the sulfur coming from ammonium sulfate, namely, the S absorption curves are similar for the tested sources. The fertilizer containing sulfur in the elemental form can replace fertilizers containing sulfur as ammonium sulfate without interfering in the accumulation of dry matter and nutrients in the corn plant, independently of the type of soil and phenological stage.

Keywords: *Zea mays*. Fertilizers. Elemental sulfur. Ammonium sulfate.

1 INTRODUÇÃO

É preciso conhecer a marcha de absorção de nutrientes e a acumulação de matéria seca nas diferentes fases de desenvolvimento da planta, identificando as épocas de maior exigência para cada elemento. A folha é o órgão que melhor indica o estado nutricional da planta e permite avaliar, de forma indireta, a fertilidade do solo e a eventual necessidade de adubo (STIPP; CASARIN, 2010).

O enxofre (S), assim como outros nutrientes, apresenta significativa importância no desenvolvimento das plantas, por fazer parte da constituição protéica, entre outros constituintes (ALVAREZ et al., 2007). A extração de S pela planta de milho, varia de 15 a 30 kg ha⁻¹ para produções de grãos de 5 a 7 ton ha⁻¹ (COELHO; FRANÇA, 1995). Para se produzir uma tonelada de grãos, a planta de milho extrai até 3 kg de S por hectare.

A sua deficiência é fator limitante da produção agrícola em extensas áreas do Brasil, notadamente na região dos Cerrados. As fontes de S mais utilizadas na adubação são o superfosfato simples (12% de S-sulfato) e o sulfato de amônio (24% de S-sulfato), isoladamente ou como componentes de fórmulas comerciais com baixa concentração em NPK. Com o uso de adubos concentrados, sem enxofre, as respostas a esse elemento tendem a aumentar, solos com teores de enxofre inferiores a 10 ppm, o milho pode apresentar resposta a esse nutriente (COELHO; FRANÇA, 1995).

A utilização do enxofre elementar (S₀) em fertilizantes NPK em substituição a outras fontes de S é uma realidade em vários países. Fertilizantes com S₀ são comercializados em países como Canadá, Austrália e Nova Zelândia. O Brasil consome cerca de 1,6 milhões de toneladas anuais de S₀, importando cerca de 90%. O S é matéria-prima na agricultura brasileira que consome 53% dessa produção e o consumo está relacionado à produção de ácido sulfúrico, que

é destinado cerca de 70% para produzir ácido fosfórico e fertilizante (STIPP; CASARIN, 2010).

No Brasil há poucos trabalhos de pesquisa evidenciando a utilização do S_0 como principal fonte de S em fertilizantes comerciais. Há a necessidade de se verificar se a marcha de absorção deste nutriente fornecido na forma elementar é semelhante quando este advém de outras fontes de S.

A incorporação de S_0 a fertilizantes convencionais, como uréia e superfosfato triplo, é outra forma de aumentar o teor do nutriente em formulações NPK. Porém, a forma de incorporação do S-elementar 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) incorporação do S_0 em pó durante a granulação do superfosfato (STIPP; CASARIN, 2010).

Pesquisas demonstraram que a forma elementar do enxofre (S_0) pode ser considerada fertilizante, desde que as condições do solo, fonte e cultura na qual o elemento for aplicado, permitam a conversão da forma elementar para sulfato. Porém, para que o S_0 possa se tornar disponível para as plantas ele deve ser oxidado a S-sulfato, que é a forma que as plantas absorvem este nutriente. A oxidação do S_0 é realizada, principalmente, por microrganismos específicos do solo (JANSEN; BETTANY, 1987).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a marcha de absorção de nutrientes e a eficiência do enxofre elementar revestindo o grânulo de adubo NPK, comparado ao enxofre do sulfato de amônio, associados ou não ao NPK e ainda o incremento em matéria seca em função dessas duas fontes de enxofre.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Instalação e condução do experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada na área experimental do Departamento de Fitopatologia, na Universidade Federal de Lavras, em Lavras - MG, que está situado a 920 m de altitude, nas coordenadas de 21°14'30'' de latitude sul e 45°00'10'' de longitude oeste. O clima predominante no município é classificado como mesotérmico, com temperaturas médias anuais de 19,3 °C, precipitação média de 1.411 mm.

A instalação do experimento foi realizada no dia 17 de novembro de 2008, sendo semeadas quatro sementes por vaso. Após a emergência das plantas procedeu-se o desbaste, deixando-se apenas uma planta por vaso. Foi utilizado o híbrido de milho DKB 390. Foram utilizados vasos com capacidade de 30 l e preenchidos com terra seca ao ar, peneiradas em malha de 2,0 cm.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 (tipos de solo) x 3 (tipos de adubos) x 6 (estádios fenológicos) com três repetições. Foram utilizados dois tipos de solo, quanto a fertilidade, sendo um solo proveniente de área cultivada a mais de dez anos em monocultivo de milho (o solo de cultivo) e o outro proveniente de terra de barranco, obtido na camada subsuperficial do solo (20 a 50 cm) em área nunca antes cultivada. As amostras de terra foram coletadas no campus universitário da UFLA e ambos os solos são classificados como Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), textura argilosa. Os resultados das análises desses solos estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 Resultados analíticos das amostras de solo de cultivo e de barranco.
UFLA, Lavras, MG, 2011

Caraterísticas ¹	Unidade	Cultivo	Barranco
pH em água	mg dm ⁻³	6,7	5,6
P (Fósforo Mehlich)	mg dm ⁻³	7,1	1,2
K (Potássio Mehlich)	mg dm ⁻³	73	39
Ca (Cálcio)	mmol _c dm ⁻³	55	10
Mg (Magnésio)	mmol _c dm ⁻³	10	2
Al ³⁺ (Alumínio)	mmol _c dm ⁻³	0	1
H+Al (Acidez potencial)	mmol _c dm ⁻³	13	32
SB (Soma de Bases)	mmol _c dm ⁻³	67	12
t (CTC efetiva)	mmol _c dm ⁻³	67	20
T (CTC a pH 7,0)	mmol _c dm ⁻³	80	37
m (saturação/alumínio)	%	0	5,0
V (saturação de bases)	%	83,7	33,3
Matéria orgânica	g kg ⁻¹	31	10
P-rem	mg L ⁻¹	13,6	4,9
S-sulfato	mg dm ⁻³	21,4	13,7

¹ Análises realizadas no laboratório de análise de solos do Departamento de Ciência do Solo da UFLA

Foram avaliados três tipos de adubos formulados, conforme descrito na tabela 2. Sendo utilizados 108 vasos, sendo que cada um deles correspondeu a uma parcela do experimento, totalizando 108 parcelas (2 tipos de solo x 3 tipos de adubos x 6 estádios fenológicos x 3 repetições). A umidade do solo foi mantida próxima aos 70% da capacidade máxima de retenção de água pelo solo. Para isso foram realizadas irrigações controladas por pesagem dos vasos, em condições ideais de umidade, ou seja, sem estresse hídrico.

Tabela 2 Descrição dos tipos de adubos formulados N: P₂O₅: K₂O utilizados no experimento. UFLA, Lavras, MG, 2011

Tipos de Adubos	Adubação	
	Plantio	Cobertura
Sem enxofre	08-28-16	22-00-20
Enxofre do sulfato de amônio	08-28-16 + 2,5 %S	22-00-20 + 7,3% S
Enxofre elementar	08-28-16 + 2,5 %S	22-00-20 + 7,3 %S

A adubação utilizada por vaso foi calculada de modo a fornecer quantidades adequadas de nutrientes, visando alta produção de matéria seca por planta (MALAVOLTA, 1980). Deste modo foi adotado o valor de 400 g de matéria seca por planta, como referência para determinação da fertilização necessária para o vaso de 30 dm³. Isso equivaleria a uma produção de massa seca de 24 t ha⁻¹, considerando a população de 60 mil plantas por hectare (BORGES, 2006). A adubação de cobertura foi feita quando as plantas se encontravam com quatro folhas completamente expandidas. Foi feito também uma aplicação de micronutrientes por meio de solução nutritiva, utilizando-se fontes de reagentes puros para análise sem a presença do elemento enxofre.

Os nutrientes do experimento foram calculados e fornecidos utilizando-se os adubos de plantio e de cobertura para suprir a demanda de P, N e S (nos tratamentos a base de S). Para a demanda dos outros nutrientes, foram aplicados reagentes puros para análise, por meio de soluções nutritivas. Na Tabela 3 estão apresentadas às quantidades utilizadas de cada nutriente.

Tabela 3 Quantidades de nutrientes visando obter produção alta produção de matéria seca por planta. UFLA, Lavras, MG, 2011

Elementos	Quantidade (mg kg⁻¹ de solo)	Fontes utilizadas
Nitrogênio	200	Formulados NPK
Fósforo	200	Formulados NPK
Potássio	200	Formulados NPK E KCl
Cálcio	60	Carbonato de Cálcio
Magnésio	30	Carbonato de Magnésio
Enxofre-Sulfato	50	Formulados NPK
Boro	0,5	Ácido Bórico
Cobre	1	Quelato
Manganês	5	Quelato
Zinco	0,5	Quelato

2.2 Características avaliadas

2.2.1 Matéria seca da parte aérea

A planta foi fracionada em diferentes partes conforme o estágio fenológico (folha, caule, pendão e espiga), sendo secas em estufa de circulação forçada aos 70 °C, até peso constante, para determinação da matéria seca. A matéria seca da parte aérea foi obtida mediante a soma dos componentes presentes em cada estágio fenológico, exceto a raiz.

2.2.2 Matéria seca da raiz

A raiz foi coleta, procedeu-se a lavagem via úmida por meio de jatos de água, separando-a da terra do vaso, recolhendo-as em peneiras de 4 mm e após

foram secas em estufa de circulação forçada aos 70°C, até peso constante, para determinação da matéria seca.

2.2.3 Acúmulo de nutrientes na folha

Para realização das análises foliares, todas as folhas da planta foram coletadas nos seguintes estádios fenológicos, adaptados de Fancelli (1986): E1 (6 folhas completamente expandidas), E2 (10 folhas completamente expandidas), E3 (14 folhas completamente expandidas), E4 (pendoamento), E5 (florescimento pleno) e E6 (ponto de maturidade fisiológica).

As folhas colhidas em cada parcela (1 planta vaso⁻¹) foram lavadas e secas em estufa de circulação forçada aos 70 °C, até peso constante, para determinação da matéria seca. Amostras do material de cada parcela foram moídas e enviadas ao laboratório de análise foliar do Departamento de Ciência do Solo da UFLA para as determinações dos teores de nutrientes na matéria seca.

Por meio do extrato nítrico-perclórico, foram determinados os teores de fósforo, por colorimetria, cálcio e magnésio. O potássio por fotometria de chama e o enxofre por turbidimetria do sulfato de bário. Os teores de nitrogênio total foram determinados pelo método semimicro Kjeldahl (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Foi calculado o acúmulo de cada nutriente na folha determinando-se a relação entre o teor do nutriente e a matéria seca da folha. Esse cálculo foi realizado com a expressão: Acúmulo do nutriente na folha (gramas planta⁻¹) = (MS (g) x teor do nutriente (%)) / 100.

2.3 Análises estatísticas

Todos os dados foram submetidos à análise de variância, geradas pelo programa de análises estatísticas Sisvar (FERREIRA, 2000) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey. Procederam-se análises de regressão com o modelo para ajuste das equações escolhido com base no coeficiente de determinação ($r^2 > 80\%$) em função dos estádios fenológicos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Constatou-se diferenças significativas ($P \leq 0,05$) para as fontes de variação tipo de solo, estádios fenológicos e interação tipos de solo e estádios fenológicos, para a maioria das características avaliadas (Tabela 4). Quando se considera os tipos de adubos utilizados verifica-se que estes proporcionaram diferenças significativas apenas no acúmulo de nitrogênio, enxofre, magnésio e matéria seca da parte aérea. Vale ressaltar que não foi constatada a presença de interação significativa envolvendo o fator adubos para a maioria dos nutrientes, exceto para o cálcio onde se constatou interação significativa entre adubos e estádios fenológicos. Isso evidencia que os resultados das características obtidos pelos diferentes tipos de adubos não foram influenciados pelo tipo de solo e pelos estádios fenológicos. Já para a matéria seca da parte aérea, colmo e raiz foram constatadas interações entre adubos e estádios fenológicos, sendo que esses acúmulos foram influenciados pelos tipos de adubos e estádios fenológicos.

A precisão experimental, avaliada pelo coeficiente de variação (CV) foi considerada boa, com valores de CV semelhantes aos normalmente obtidos em experimentos em condições controladas (BORGES, 2006; CARVALHO, 2008). Os altos valores de CV (>20%) encontrados para os acúmulos dos macronutrientes, corroboram com os observados por Borges (2006), Vasconcellos et al. (1983) e Vasconcellos, Viana e Ferreira (1998) e segundo estes autores, provavelmente se deve a obtenção de valores dos acúmulos desses nutrientes iguais ou próximos a zero nos estádios iniciais do desenvolvimento das plantas.

A ordem de acúmulo de macronutrientes na matéria seca pelas folhas do milho em gramas obtidos neste experimento foi: $K > N > Ca > P > S > Mg$, sendo

semelhante aos resultados obtidos por Andreotti (2000) e Borges (2006) em condições de casa-de-vegetação.

Tabela 4 Resumo da análise de variância para as características matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR), nitrogênio acumulado (N), fósforo acumulado (P), potássio acumulado (K), cálcio acumulado (Ca), enxofre acumulado (S) e magnésio acumulado (Mg), expressos em gramas por planta. UFLA, Lavras, MG, 2011

FV	GL	QM							
		MSPA	MSR	N	P	K	Ca	S	Mg
Solos (S)	1	27260**	26894**	8,53**	0,142**	10,66**	0,040*	0,090**	0,0001
Adubos (A)	2	22726**	99	0,61**	0,003	0,01	0,020	0,021**	0,0041**
Estádios (E)	5	843079**	16046**	20,23*	0,261**	13,05**	0,446**	0,078**	0,0285**
S*A	2	1122	106	0,26	0,001	0,07	0,013	0,004	0,0004
S*E	5	4049	3699**	0,57*	0,006*	0,25*	0,018*	0,004	0,0007
A*E	10	24923**	737**	0,12	0,002	0,11	0,024**	0,003	0,0007
S*A*E	10	740	101	0,14	0,001	0,07	0,006	0,001	0,0004
Resíduo	72	2325	50	0,19	0,002	0,10	0,007	0,001	0,0004
CV (%)		23,45	15,81	26,35	26,42	17,96	36,95	32,51	33,42
Média geral		205,62	45,03	1,69	0,18	1,82	0,23	0,13	0,06

* Teste F, significativo a 5%

** Teste F, significativo a 1%

Os resultados médios das características considerando os diferentes tipos de solo estão apresentados na Tabela 5. Apenas para o magnésio acumulado, não foram constatadas diferenças significativas entre os tipos de solo. O acúmulo de macronutrientes nas folhas foi superior no solo de cultivo o que era esperado em função da sua maior fertilidade. Outro fator a se considerar é que esse solo vem sendo cultivado a mais de dez anos com milho e pode ter em sua composição maior população de microorganismos oxidantes do enxofre que o solo de

barranco, nunca antes cultivado, o que pode ter favorecido essas características avaliadas na planta de milho.

Tabela 5 Resultados médios de matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR), nitrogênio acumulado (N), fósforo acumulado (P), potássio acumulado (K), cálcio acumulado (Ca), enxofre acumulado (S) e magnésio acumulado (Mg), expressos em gramas por planta, considerando os dois tipos de solo. UFLA, Lavras, MG, 2011

Solos	MSPA	MSR	N	P	K	Ca	S	Mg
Barranco	189,7b	29,2b	1,41b	0,14b	1,50b	0,25a	0,10b	0,06a
Cultivo	221,5a	60,8a	1,97a	0,22a	2,13a	0,21b	0,16a	0,06a

As médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, aos 5% de probabilidade

Horowitz e Meurer (2006) em casa-de-vegetação com quatro cultivos consecutivos de milho comprovaram que o superfosfato triplo ao qual foi incorporado S-elementar na forma de pó apresentou eficiência agrônômica crescente com o decorrer dos cultivos, atingindo índices de eficiência agrônômica (IEA) superiores ao do gesso em pó e ao do superfosfato simples (fonte de S padrão) no terceiro e no quarto cultivo. O superfosfato triplo revestido com S-elementar fundido apresentou índices intermediários. Estes resultados indicam que a utilização do S-elementar associado a fontes de fósforo granuladas apresentam potencial de utilização em áreas com níveis adequados do nutriente, porém que necessitam de reposição de enxofre.

Pelos resultados médios das características avaliadas quanto ao tipo de adubo, constataram-se diferenças significativas para a matéria seca da parte aérea e o acúmulo nas folhas de nitrogênio, enxofre e magnésio (Tabela 6). Para esses nutrientes o adubo contendo enxofre na forma elementar revestindo o grânulo do NPK, proporcionou resultados superiores ao adubo sem enxofre e semelhante ao adubo contendo o enxofre na forma de sulfato de amônio. Houve

um incremento em matéria seca da parte aérea quando se utilizou o enxofre elementar em relação ao sulfato de amônio e a testemunha.

Prochnow et al. (2007) em casa-de-vegetação, cultivaram braquiária em 21 solos com características distintas (1 a 14 mg dm⁻³ de S), coletados em diferentes regiões do Brasil e avaliaram cinco tratamentos: (1) Controle (sem S); (2) Gesso agrícola; (3) Diamônio fosfato enriquecido com S₀; (4) Enxofre elementar em pó; (5) Enxofre elementar em pó + Inóculo. Verificaram resposta à adubação com enxofre na maioria dos solos, nos quais todos os tratamentos com enxofre resultaram em maior produção de matéria seca em relação ao controle, dados que corroboram com os obtidos no presente trabalho. Em todos os solos onde houve resposta ao enxofre, a produção de matéria seca dos tratamentos com S₀ foi equivalente ao SO₄⁻², dados que corroboram com os resultados de pesquisas realizadas por Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (1997). Os autores concluíram que os solos, com resposta ao S, têm potencial para adubação com enxofre elementar, resultando em produção semelhante à obtida com o sulfato.

Miranda e Miranda (2008) e Frandoloso et al. (2010), encontraram maiores teores de S nas folhas no florescimento nos tratamentos com enxofre em relação aos tratamentos sem enxofre. Czycza et al. (2008) avaliaram o teor de macronutrientes, incluindo o S no tecido foliar e não constatou diferenças significativas entre os tratamentos com as várias fontes de enxofre. Os resultados desses autores concordam com os obtidos neste trabalho, onde se encontrou maiores teores foliares de S nos tratamentos com enxofre, em relação à testemunha sem enxofre. Vale ressaltar que estes valores de S foliar foram semelhantes quando se considera o enxofre elementar e o enxofre proveniente do sulfato de amônio.

Tabela 6 Resultados médios das características avaliadas: matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR), nitrogênio acumulado (N), fósforo acumulado (P), potássio acumulado (K), cálcio acumulado (Ca), enxofre acumulado (S) e magnésio acumulado (Mg), expressos em gramas por planta, considerando os três tipos de adubos. UFLA, Lavras, MG, 2011

Adubos	MSPA	MSR	N	P	K	Ca	S	Mg
Sem enxofre	194,9b	46,2a	1,5b	0,18a	1,80a	0,21a	0,10b	0,05b
Enxofre do sulfato	187,6b	43,1a	1,6ab	0,17a	1,82a	0,22a	0,13a	0,06b
Enxofre elementar	234,3a	45,6a	1,8a	0,19a	1,84a	0,25a	0,15a	0,07a

As médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, aos 5% de probabilidade

Em relação ao acúmulo de matéria seca e nutrientes nos diferentes estádios fenológicos, houve diferenças significativas para todas as características (Tabela 7). Esses resultados eram esperados uma vez que à medida que a planta se desenvolve ocorre incremento na matéria seca da planta e no acúmulo de nutrientes nas folhas. Verifica-se o máximo acúmulo dos macronutrientes no estágio cinco (florescimento). Os resultados dos acúmulos de N, P, K, S e Mg nas folhas corroboram com os resultados obtidos por Vasconcellos (1983), Vasconcellos, Viana e Ferreira (1998) e Borges (2006), que afirmam que os acúmulos de nutrientes são crescentes até o período compreendido entre o final do florescimento e o início do enchimento de grãos, quando são atingidos o máximo acúmulo.

Tabela 7 Resultados médios de matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR), nitrogênio acumulado (N), fósforo acumulado (P), potássio acumulado (K), cálcio acumulado (Ca), enxofre acumulado (S) e magnésio acumulado (Mg), expressos em gramas por planta, considerando os seis estádios fenológicos. UFLA, Lavras, MG, 2011

Estádios	MSPA	MSR	N	P	K	Ca	S	Mg
1 (6 folhas)	5,7d	7,9f	0,24c	0,03c	0,23d	0,01d	0,01d	0,01c
2 (10 folhas)	62,6c	15,0e	1,57b	0,16b	1,57c	0,11c	0,09c	0,03b
3 (14 folhas)	157,9b	38,6d	2,75a	0,30a	2,26b	0,22b	0,19a	0,09a
4 (pendão)	186,8b	55,7c	2,37a	0,26a	2,44a	0,25b	0,15b	0,09a
5 (floresc.)	201,3b	71,1b	2,57a	0,28a	2,50a	0,29b	0,18ab	0,10a
6 (maturid.)	619,3a	81,7a	0,62c	0,05c	1,92a	0,47a	0,14b	0,03b

As médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, aos 5% de probabilidade

A matéria seca da parte aérea encontrada no estágio de maturidade fisiológica foi de 619 gramas. Uma vez que a adubação por vaso foi calculada de modo a obter 400 gramas de matéria seca por planta, verifica-se que os solos utilizados possuíam um bom nível inicial de nutrientes, boa fertilidade e contribuíram para o incremento de mais 219 gramas de matéria seca por planta. Grande parte desse incremento (por volta de 70% do peso na maturidade) foi devido ao incremento em matéria seca da espiga. Outro fator a se considerar é que não houve estresse hídrico e o solo permaneceu com 70% da capacidade máxima de retenção de água pelo solo, em condições consideradas ideais para o crescimento da planta.

Os resultados de matéria seca das diferentes partes da planta e a matéria seca da parte aérea encontradas nesse experimento na maturidade fisiológica foram maiores que os encontrados por Vasconcellos, Viana e Ferreira (1998), sendo que essa diferença pode ser devida ao híbrido utilizado no experimento ser mais produtivo (DKB 390), com média de 619 g/planta na maturidade

fisiológica e pelo ambiente ser controlado não havendo déficit hídrico. Vasconcellos, Viana e Ferreira (1998) encontrou na matéria seca da parte aérea 423 g/planta para o híbrido AG 519 e 374 g/planta, para o BR 106, na maturidade fisiológica.

Para a matéria seca da parte aérea houve crescimento quadrático durante os estádios, para os três tipos de adubação (Gráfico 1). Observa-se que no estágio 6 (maturidade fisiológica) houve uma maior produção de matéria seca da parte aérea. Nesse mesmo estágio Borges (2006), Vasconcelos et al. (1983), Vasconcellos, Viana e Ferreira (1998) e Von Pinho et al. (2009) também encontraram os maiores valores de matéria seca. Pode-se concluir que o aumento da matéria seca da planta de milho após o florescimento é devido principalmente ao incremento que ocorre na espiga, ou seja, grãos, palha e sabugo. De acordo com Von Pinho et al. (2009), nas cultivares de milho, há incremento em matéria seca até próximo à maturidade fisiológica, quando são obtidos os acúmulos máximos.

Para a matéria seca da raiz observou-se tendência linear de crescimento durante os estádios, com seu máxima produção durante o estágio 6 (PMF), sendo que as equações explicaram 85, 99 e 92% da variação dos dados para os três tipos de adubação, respectivamente (Gráfico 2). Borges (2006), também observou o mesmo comportamento de incremento da matéria seca da raiz em casa-de-vegetação.

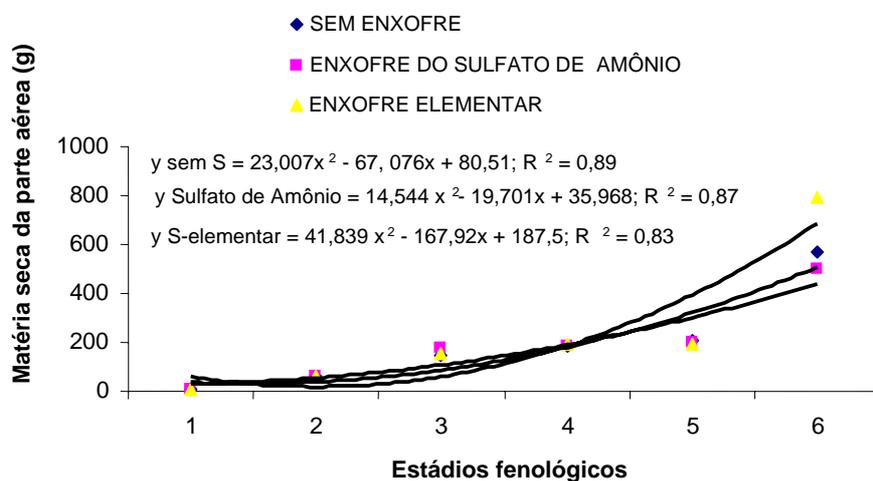


Gráfico 1 Matéria seca da parte aérea considerando os três adubos em função dos estádios fenológicos, expresso em gramas por planta. UFLA, Lavras, MG, 2011

Para o nitrogênio acumulado houve comportamento quadrático durante os estádios, sendo que o coeficiente de determinação explica 84 e 95 % da variação total dos dados, para os dois tipos de solos (Gráfico 3). Observa-se no estágio 4 (pendoamento) o máximo acúmulo de nitrogênio. Resultados esses que se assemelham aos obtidos por Borges (2006), Vasconcellos et al. (1983) e Vasconcellos, Viana e Ferreira (1998) após esse estágio a queda no acúmulo de nitrogênio nas folhas pode ser devido a redistribuição deste para outras partes da planta em estádios posteriores, como para o colmo e as espigas e conseqüentemente para o enchimento de grãos.

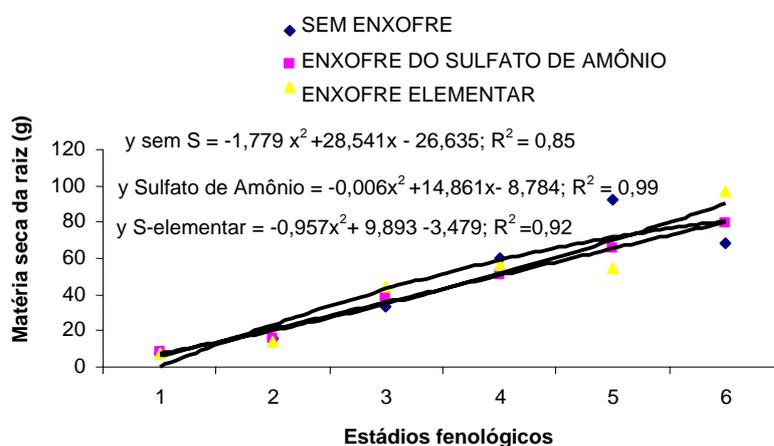


Gráfico 2 Matéria seca da raiz (g) considerando os três adubos em função dos estádios fenológicos, expresso em gramas por planta. UFLA, Lavras, MG, 2011

O fósforo acumulado apresentou comportamento quadrático (Gráfico 4). Observa-se no estágio 4 (pendoamento) o máximo acúmulo. Essa queda no acúmulo de fósforo assim como no caso do nitrogênio nas folhas pode ser devido à redistribuição deste para outras partes da planta em estádios posteriores, como para o colmo e para as espigas e, conseqüentemente, para o enchimento de grãos.

Para o potássio acumulado obteve-se um comportamento quadrático, com o decorrer dos estádios (Gráfico 5). Observa-se no estágio 5 (florescimento) o seu máximo acúmulo. Após esse estágio esse elemento pode ter sido redistribuído para o colmo e espigas.

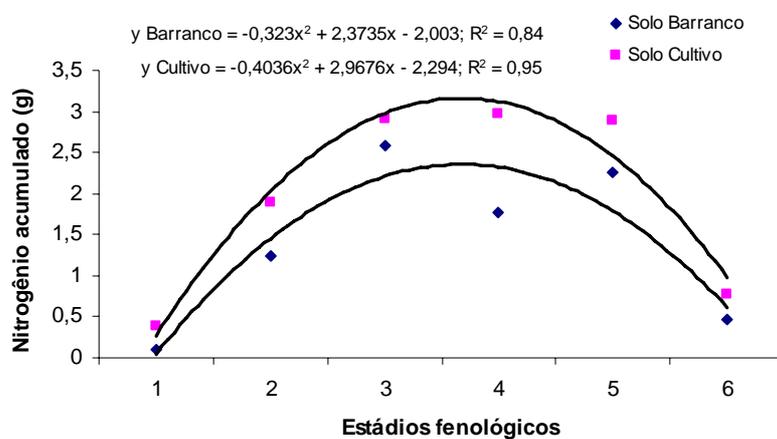


Gráfico 3 Nitrogênio acumulado nas folhas (g) em função dos tipos de solo e estádios fenológicos, expresso em gramas por planta. UFLA, Lavras, MG, 2011

No caso do enxofre acumulado ocorreu tendência quadrática para o acúmulo nas folhas, independente da fonte de enxofre utilizada na adubação (Gráfico 6). O coeficiente explica 90 % da variação total dos dados e o máximo acúmulo desse elemento ocorreu no estágio 4 (pendoamento).

Para o magnésio acumulado obteve-se comportamento quadrático para o acúmulo, sendo que a equação explica 90 % da variação total dos dados (Gráfico 7). O máximo acúmulo desse elemento ocorreu no estágio 4 (pendoamento).

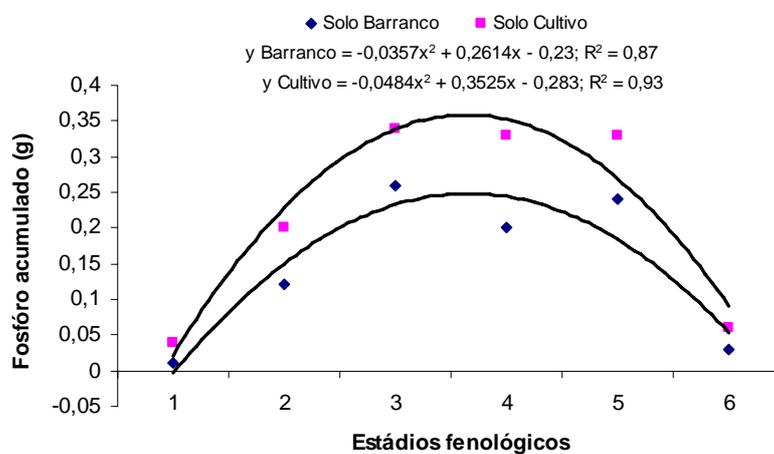


Gráfico 4 Fósforo acumulado nas folhas (g) em função dos tipos de solo e estádios fenológicos, expresso em gramas por planta. UFLA, Lavras, MG, 2011

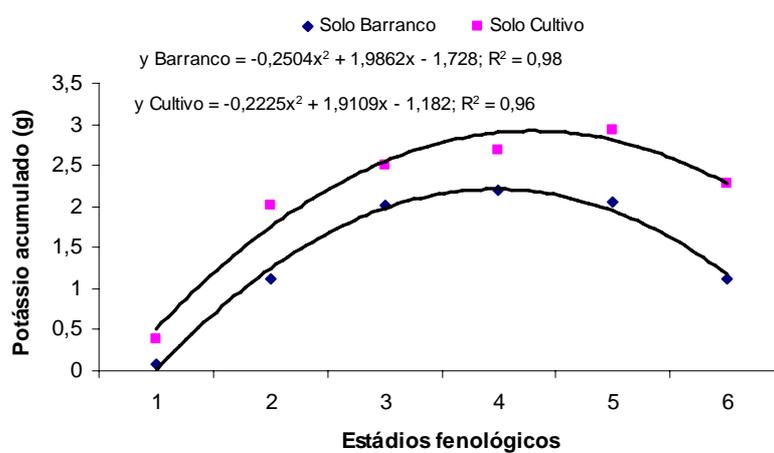


Gráfico 5 Potássio acumulado nas folhas (g) em função dos tipos de solo e estádios fenológicos, expresso em gramas por planta. UFLA, Lavras, MG, 2011

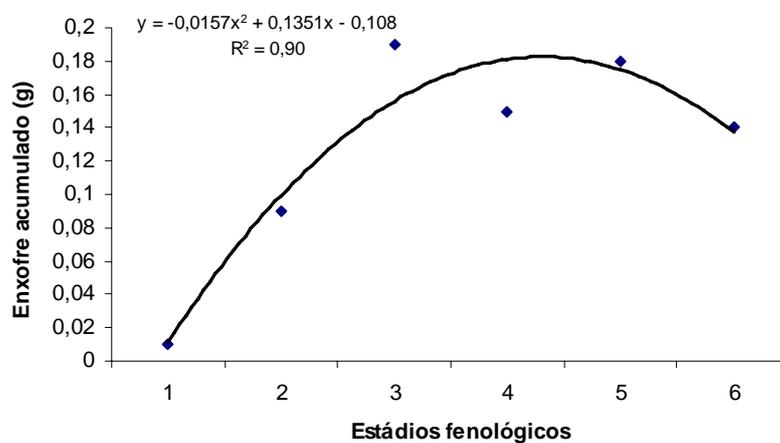


Gráfico 6 Enxofre acumulado nas folhas (g) em função dos estádios fenológicos, expresso em gramas por planta. UFLA, Lavras, MG, 2011

Para o cálcio o acúmulo cresceu linearmente durante os estádios, sendo que as equações explicam 91, 97 e 85% da variação total dos dados, respectivamente para os tipos de adubos (Gráfico 8). O cálcio nas folhas acumulou-se durante todo o ciclo até a maturidade, sendo este incremento semelhante ao observado em casa-de-vegetação por Borges (2006), como o cálcio é imóvel na planta, não houve redistribuição para outras partes e assim esse nutriente acumulou até o fim do ciclo da planta.

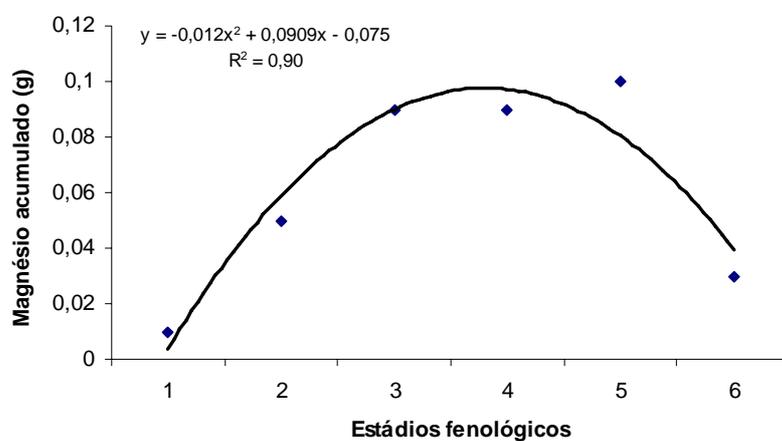


Gráfico 7 Magnésio acumulado nas folhas (g) em função dos estádios fenológicos, expresso em gramas por planta. UFLA, Lavras, MG, 2011

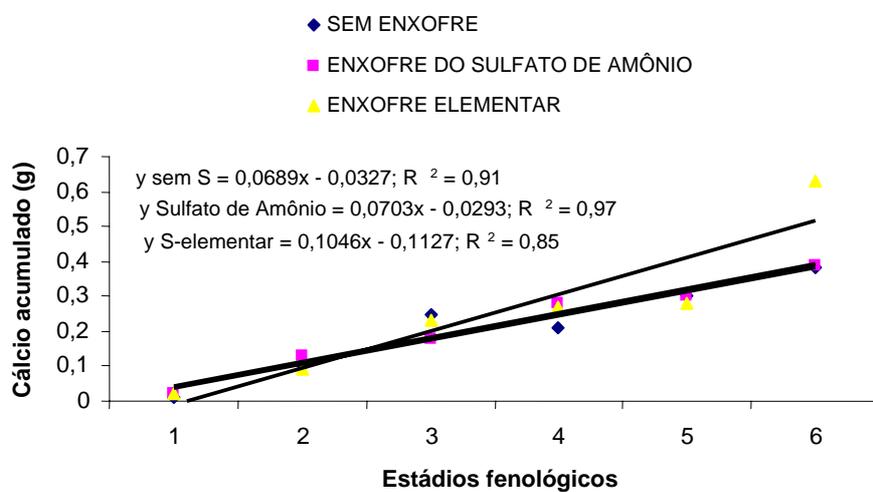


Gráfico 8 Cálcio acumulado nas folhas (g) em função dos 3 tipos de adubos e estádios fenológicos, expresso em gramas por planta. UFLA, Lavras, MG, 2011

3 CONCLUSÕES

Os tipos de adubos utilizados proporcionam diferenças na matéria seca da parte aérea e no acúmulo de nitrogênio, enxofre e magnésio. Para esses nutrientes o adubo contendo enxofre na forma elementar proporciona resultados superiores ao adubo sem enxofre e semelhantes ao adubo contendo o enxofre na forma de sulfato de amônio.

O enxofre elementar proporciona incremento em matéria seca da parte aérea em relação ao enxofre do sulfato de amônio e a testemunha sem enxofre.

O enxofre na forma elementar no desenvolvimento da planta de milho é semelhante ao enxofre proveniente do sulfato de amônio, sendo que as curvas de absorção de S são semelhantes para as fontes testadas.

O adubo contendo enxofre na forma elementar pode substituir adubos contendo enxofre na forma de sulfato de amônio sem interferir no acúmulo de matéria seca e de nutrientes na planta de milho, independentemente do tipo de solo e do estágio fenológico considerado.

REFERÊNCIAS

ALVAREZ, V. H. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 595-644.

ANDREOTTI, M. et al. Produção de matéria seca e absorção de nutrientes pelo milho em razão da saturação por bases e da adubação potássica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 12, p. 2437-2446, dez. 2000.

BORGES, I. D. **Marcha de absorção de nutrientes e acúmulo de matéria seca em milho**. 2006, 172 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

CARVALHO, R. P. **Eficiência na absorção e uso de nitrogênio em cultivares de milho**. 2008. 65 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. Nutrição e adubação: seja doutor do seu milho. **Arquivo do Agrônomo**, Piracicaba, n. 2, p. 1-9, set. 1995.

CZYCZA, R. V. et al. Eficiência agronômica de diferentes fertilizantes contendo enxofre para a cultura do milho. In: FERTIBIO - REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 28., 2008, Londrina. **Resumos...** Londrina: IAPAR, 2008. p. 36-40.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. **Efeito da granulometria na eficiência agronômica de fontes de enxofre em solo de Cerrado**. Planaltina: EMBRAPA/CPAC, 1997. Relatório final.

FANCELLI, A. L. **Plantas alimentícias**: guia para aula, estudos e discussão. Piracicaba: ESALQ, 1986. 131 p.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do SISVAR para windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Programa e Resumo...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 235.

FRANDOLOSO, J. F. et al. Eficiência de adubos fosfatados associados a enxofre elementar na cultura do milho. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 57, n. 5, p. 686-694, set./out. 2010.

HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Oxidação de enxofre elementar em solos tropicais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 822-828, maio/jun. 2006.

JANZEN, H. H.; BETTANY, J. R. Measurement of sulfur oxidation in soils. **Soil Science**, Baltimore, v. 143, n. 6, p. 444-452, 1987.

MALAVOLTA, E. A avaliação do estado nutricional. In: ----- **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. p. 219-251.

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

MIRANDA, L. N.; MIRANDA, J. C. C. **Adubação de enxofre para a cultura do milho, sob plantio convencional e direto em solo do cerrado**. Planaltina: [s. n.], 2008. Comunicado técnico, 143.

PROCHNOW, L. I. et al. **Agronomic effectiveness of sources of sulfur in four Brazilian soils**. New Orleans: International Annual Meetings, 2007.

STIPP, S. R.; CASARIN, V. A importância do enxofre na agricultura brasileira. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n. 129. p. 14-20, mar. 2010.

VASCONCELLOS, C. A. et al. Acumulação de massa seca e de nutrientes por duas cultivares de milho com e sem irrigação suplementar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 8, p. 887-901, 1983.

VASCONCELLOS, C.A.; VIANA, M. C.; FERREIRA, J. J. Acúmulo de matéria seca e de nutrientes em milho cultivado no período inverno-primavera. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n.11, p.1835-1845, nov. 1998.

VON PINHO, R. G. et al. Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 8, n. 2, p. 157-173, 2009.

CAPÍTULO 3

Avaliação da eficiência agronomica de fertilizantes com diferentes fontes de enxofre e formas de fornecimento de micronutrientes na cultura do milho

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência agrônômica em condições de campo de fertilizantes NPK sem enxofre e com enxofre proveniente do sulfato de amônio e enxofre elementar, associado a micronutrientes fornecidos na forma granulada ou micronutrientes revestido no grânulo, em sistemas de cultivo direto e convencional. Os experimentos foram instalados em novembro e dezembro de 2009, sendo o primeiro conduzido na área experimental da UFLA, em Lavras - MG e o segundo conduzido na Fazenda Vitorinha em Ijaci – MG, ambos em plantio direto. O terceiro experimento foi conduzido sob sistema convencional, em área experimental da UFLA, em Lavras - MG. Foram avaliados seis tratamentos em esquema fatorial 3 x 2, sendo 3 fertilizantes, um sem enxofre e os outros dois com diferentes fontes de enxofre (sulfato de amônio e enxofre elementar) associados a duas formas de fornecimento de micronutrientes (granulado ou grânulo revestido). O delineamento foi o de blocos casualizados com cinco repetições, sendo utilizado o híbrido GNZ 2004. Foram avaliadas altura de plantas, altura de espigas, produtividade de grãos e teores foliares de nutrientes. Independentemente do sistema de cultivo, não foram constatadas diferenças significativas para fontes de enxofre e formas de fornecimento dos micronutrientes nas características agrônômicas e teores foliares de nutrientes. As diferentes fontes de enxofre afetaram as características de modo semelhante e independem da forma de fornecimento dos micronutrientes. A forma de fornecimento de micronutrientes via micro granulada ou micro revestindo o grânulo de adubo não proporciona diferenças significativas nos teores foliares de nutrientes e também na produtividade de grãos e altura de plantas e espiga. Não foi constatado resposta a aplicação do enxofre na altura de plantas, de espigas e produtividade de grãos. Pode-se inferir que a substituição do enxofre proveniente do sulfato de amônio pelo enxofre elementar em fertilizantes NPK ou até mesmo a ausência deste na formulação dos fertilizantes não comprometerá a eficiência agrônômica dos fertilizantes.

Palavras-chave: Zea mays. Fertilizantes. Enxofre elementar. Sulfato de amônio. Micronutrientes

ABSTRACT

The objective of this work was evaluating the agronomical efficiency under field conditions of NPK fertilizers without sulfur and with sulfur coming from ammonium sulfate and elemental sulfur, associated to micronutrients supplied in the granular form or micronutrients coated in the granule, in no tillage and conventional planting systems. The experiments were established in November and December of 2009, the former being conducted in the UFPA's experimental area in Lavras - MG and the latter conducted on the Vitorinha Farm in Ijaci - MG, both at no-tillage planting. The third experiment was conducted under conventional system in experimental area of the UFPA in Lavras - MG. Six treatments in factorial scheme 3 x 2 were evaluated, namely, 3 fertilizers, one without sulfur and the other two with different sources of sulfur (ammonium sulfate and elemental sulfur) associated to two forms of supplying micronutrients (granular or coated granule). The design was that of randomized blocks with five replicates, hybrid GNZ 2004 being utilized. Plants' height, ears' height, grain yield and leaf contents of nutrients were evaluated. Independently of the growing system, no significant differences were found for the sources of sulfur and forms of supplying micronutrients on the agronomic characteristics and leaf contents of nutrients. The different sources of sulfur affected the characteristics in a similar manner and do not depend on the form of supplying micronutrients. The form of supplying micronutrients via micro granular or micro-coating the fertilizer granule does not provide significant differences in the leaf contents of nutrients also in grain yield and plants' and ear's height. No response to the application of sulfur on the height of plants, ears and grain yields was found. One can infer that the replacement of sulfur coming from ammonium sulfate for elemental sulfur in NPK fertilizers or even the absence of this in fertilizer formulation will not compromise the agronomical efficacy of fertilizers.

Keywords: *Zea mays*. Fertilizers. Elemental sulfur. Ammonium sulfate. Micronutrients.

1 INTRODUÇÃO

As necessidades de enxofre (S) para o milho são geralmente supridas via fornecimento de fertilizantes carregados de macronutrientes primários e portadores de enxofre (S). O sulfato de amônio (24% de enxofre), o superfosfato simples (12% de enxofre) e o gesso agrícola (18% de enxofre) são as fontes mais comuns desse nutriente. Há necessidade de mais estudos para a verificação da eficiência de outras fontes de S, como por exemplo, o enxofre elementar em diferentes solos e condições de cultivo no Brasil (STIPP; CASARIN, 2010).

Atualmente, com o uso mais intensivo dos solos visando alta produtividade e de fórmulas de adubos menos concentradas, sem S, as respostas a esse elemento tendem a aumentar. Assim, em solos com teores de S inferiores a 10 ppm o milho apresenta boa probabilidade de resposta a esse nutriente. A extração de S pela planta de milho é pequena e varia de 15 aos 30 kg ha⁻¹, para produções de grãos de 5 a 7 t ha⁻¹ (COELHO; FRANÇA, 1995).

A utilização do S-elementar (S₀) em fertilizantes NPK em substituição a outras fontes de S é uma realidade em vários países. Fertilizantes com S₀ são comercializados em países como Canadá, Austrália e Nova Zelândia. O Brasil consome cerca de 1,6 milhões de toneladas anuais de S₀, importando cerca de 90%. O S é matéria-prima na agricultura brasileira que consome 53% dessa produção e o consumo está relacionado à produção de ácido sulfúrico, que é destinado cerca de 70% para produzir ácido fosfórico e fertilizantes (STIPP; CASARIN, 2010).

No Brasil há poucos trabalhos de pesquisa evidenciando a utilização do S₀ como principal fonte de S em fertilizantes comerciais. Há a necessidade de se verificar se a eficiência agrônômica de fertilizantes contendo S-elementar é semelhante quando este advém de outras fontes. Pesquisas demonstraram que a forma elementar do enxofre (S₀) pode ser considerada fertilizante, desde que as

condições do solo, fonte e cultura na qual o elemento for aplicado, permitam a conversão da forma elementar para sulfato (STIPP; CASARIN, 2010).

Entre as formas de incorporações de micronutrientes, destaca-se: o recobrimento do fertilizante previamente granulado com micronutrientes fundidos no grânulo (grânulo revestido) e incorporação dos micronutrientes em pó durante a granulação do fertilizante (micro granulado) (HERINGER, 2011).

A forma de micronutrientes grânulos revestidos (Micro Total) possui micronutrientes de alta solubilidade revestindo todos os grãos do NPK. Estes micronutrientes que recobrem 100% dos grânulos NPK dos fertilizantes em qualquer quantidade e em qualquer combinação, envolvem o nitrogênio, o fósforo e o potássio nas formulações ou em matérias-primas. Após a agregação dos micros, o fertilizante recebe um banho de óleo vegetal para melhor fixação dos mesmos. Essa qualidade física garante uniformidade de aplicação na área a ser cultivada e melhor nutrição da cultura, pois evita segregação dos micronutrientes durante o transporte e uso, o que gera maior retorno econômico em áreas deficientes em micronutrientes, através do efeito da distribuição uniforme dos micronutrientes (HERINGER, 2011).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência agrônômica em condições de campo de fertilizantes NPK sem enxofre e com enxofre proveniente do sulfato de amônio e enxofre elementar, associado a micronutrientes fornecidos na forma granulada ou micronutrientes revestido no grânulo, em sistemas de cultivo direto e convencional.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Instalação e condução dos experimentos

Os experimentos foram instalados em novembro e dezembro de 2009 em três diferentes ambientes de cultivo, que em diferindo quanto ao solo, clima, local e também quanto aos teores de enxofre e outros elementos no solo. O primeiro experimento foi conduzido no Departamento de Agricultura/UFLA, em Lavras - MG sob sistema de plantio direto, em solo classificado como Latossolo Vermelho Escuro distroférico, textura argilosa e declividade de 9%. O segundo experimento foi conduzido na Fazenda Vitorinha em Ijaci – MG, em sistema de plantio direto, em solo classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distroférico e declividade de 4%. Em ambas as áreas sob o sistema de plantio direto, o plantio foi feito sobre o mato e restos da cultura anterior (milho) que foram dessecados com o herbicida Roundup-Transorb, 15 dias antes do plantio. O terceiro experimento também foi conduzido em área do Departamento de Agricultura/UFLA, em Lavras - MG sob sistema de plantio convencional, em solo classificado como Latossolo Vermelho Escuro distroférico, textura argilosa e declividade de 9%, sendo que antes do plantio a área foi arada com grade pesada e posteriormente foi feito a gradagem.

O clima predominante nos dois municípios é classificado como mesotérmico, com temperaturas médias anuais de 19,3 °C, precipitação média de 1.411 mm, com 65% a 70% desse total concentrado nos meses de dezembro a março.

A semeadura do primeiro e segundo experimentos foi realizada no dia 28 de novembro de 2009 e a do terceiro em 03 de dezembro de 2009. O controle das plantas daninhas foi realizado com o uso da mistura de atrazina na dosagem de 4,0 l ha⁻¹ e nicossulfuron na dosagem de 0,5 l ha⁻¹, aplicado aos 30 dias após a

semeadura em pós-emergência das plantas daninhas. Juntamente com os herbicidas foi aplicado o inseticida Decis na dosagem de 250 ml ha⁻¹ para controle dos insetos da parte aérea. Todos os outros tratamentos culturais realizados foram semelhantes nos experimentos e aplicados quando necessário.

2.2 Detalhes experimentais

Foram avaliados seis tratamentos em esquema fatorial 3 x 2, sendo três fertilizantes, um sem enxofre e os outros dois com diferentes fontes de enxofre (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 cinco repetições. A parcela experimental constou de quatro linhas de 5 metros cada e espaçamento de 0,8 metros, sendo considerada como parcela útil as duas linhas centrais. Foi utilizado a cultivar de milho GNZ 2004 proveniente da empresa Genzê Sementes S.A. com população final de plantas, após o desbaste de 60 mil plantas por ha.

Tabela 1 Descrição dos tratamentos avaliados nos três experimentos. UFLA, Lavras, MG, 2011

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

2.3 Análises de solos e adubação

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, acima de 8 ton ha⁻¹ (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG, 1999). Em todos os tratamentos foram utilizados 500 Kg ha⁻¹ em adubação de plantio e 400 kg ha⁻¹ em adubação de cobertura, quando as plantas se encontravam com quatro folhas expandidas. Nos quatro tratamentos que foram fornecidos enxofre, a quantidade foi de 37 Kg ha⁻¹ de enxofre (7,5 Kg de S no plantio e 29,5 Kg de S em cobertura). As análises químicas dos solos de ambas as áreas estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 Resultados analíticos da amostra de solo (0-20 cm) da área experimental do Departamento de Agricultura da UFLA, sob sistema de plantio direto (SPD) e/ou convencional (CONV.) e Ijaci/MG, sob plantio direto (SPD). UFLA, Lavras, MG, 2011

Caraterísticas	Unidade	Ufla	Ijaci	Ufla
		SPD	SPD	CONV.
pH em água	mg dm ³	5,5	6,2	5,2
P (Fósforo Mehlich)	mg dm ³	4,6	4,9	10,3
K (Potássio Mehlich)	mg dm ³	72	90	190
Ca (Cálcio)	mmol _c dm ³	12	31	20
Mg (Magnésio)	mmol _c dm ³	5	9	6
Al ³⁺ (Alumínio)	mmol _c dm ³	1	0	1
H+Al (Acidez potencial)	mmol _c dm ³	40	29	56
SB (Soma de Bases)	mmol _c dm ³	19	42	31
t (CTC efetiva)	mmol _c dm ³	20	42	32
T (CTC a pH 7,0)	mmol _c dm ³	59	71	87
m (saturação/alumínio)	g kg ⁻¹	5,0	0	3,1
V (saturação de bases)	%	42	49,3	45,4
Matéria orgânica	g kg ⁻¹	2,5	2,4	3,0
P-rem	mg L ⁻¹	19,3	22,5	17,1
S	mg dm ³	5,8	9,8	15,4
Zn	mg dm ³	5,1	8,9	5,5
Mn	mg dm ³	11,8	16,2	14,3
Cu	mg dm ³	3,1	3,3	3,0
B	mg dm ³	0,3	0,4	0,3

2.4 Características avaliadas

- a) altura de plantas (AP) – medida em cinco plantas na área útil da parcela antes da colheita, do solo até a inserção da folha bandeira;
- b) altura de inserção de espiga (AE) - medida em cinco plantas na área útil da parcela antes da colheita, considerando a altura da primeira espiga (mais alta);
- c) produtividade de grãos (PG) – foram colhidas as espigas da área útil da parcela que foram debulhadas e os grãos pesados. Posteriormente determinou-se o seu teor de água. Os dados referentes ao peso de grãos foram transformados para kg ha^{-1} e corrigidos para umidade padrão de 13%;
- d) teores de macro e micronutrientes via análise foliar – a análise foi realizada apenas no experimento conduzido na área experimental do experimento conduzido na UFLA sob plantio direto. Para isso foi coletada a folha oposta e abaixo da espiga de seis plantas da área útil da parcela no estágio R2 (pleno florescimento) para realização de análise química completa. As folhas colhidas em cada parcela foram lavadas e secas em estufa de circulação forçada aos 70 °C, até peso constante, para determinação da matéria seca. Amostras do material de cada parcela foram moídas e enviadas ao Laboratório de Análise Foliar do Departamento de Química da UFLA para as determinações dos teores de macro e micronutrientes na matéria seca.

Por meio do extrato nítrico-perclórico, foram determinados os teores de fósforo, por colorimetria, cálcio, magnésio, cobre e manganês. O zinco, determinado por espectrofotometria de absorção atômica, o potássio por fotometria de chama e o enxofre por turbidimetria do sulfato de bário. Os teores de nitrogênio total foram determinados pelo método semimicro Kjeldahl. O

boro, após digestão por via seca, foi determinado por colorimetria (método da curcumina) (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

2.5 Análise estatística

A princípio, foram realizados os testes de aditividade dos dados, 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 conjunta, envolvendo os três experimentos. As médias foram agrupadas pelo teste de Tukey aos 5% de probabilidade (FERREIRA, 2000).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas tabelas 1A, 2A e 3A estão apresentadas as análises de variâncias individuais de cada experimento, sendo que os coeficientes de variação para as características avaliadas variaram entre 5 e 12% e indicam alta precisão nos experimentos avaliados.

Não foram constatadas diferenças significativas nas análises individuais, para altura de plantas, de espigas e produtividade de grãos independentes das fontes de variação analisados (fontes de enxofre, formas de fornecimento dos micronutrientes e interação fontes de enxofre e forma dos micronutrientes). A ausência de interação envolvendo os fatores fontes de enxofre e forma de fornecimento dos micros indica que, os resultados obtidos pelas diferentes fontes de enxofre independem das formas de fornecimento dos micronutrientes. Isto indica, que os fertilizantes contendo enxofre não proporcionaram melhoria na média de altura de plantas e de espigas e na produtividade de grãos. A utilização de enxofre na forma elementar também não proporcionou redução significativa nessas características. Miranda e Miranda (2008), Czycza et al. (2008) e Frandoloso et al. (2010), também não encontraram diferenças significativas na média de altura de plantas e de espigas, quando se comparou diferentes fontes de enxofre.

De acordo com a análise de variância conjunta envolvendo os três experimentos, não foram constatadas diferenças significativas para as fontes de enxofre para a altura de plantas, altura de espigas e produtividade de grãos (Tabela 3). As formas de fornecimento dos micronutrientes foram significativas apenas para a altura de espigas. Não houve interações significativas para as variáveis analisadas. A ausência de interação envolvendo os fatores como fontes de enxofre e forma de fornecimento dos micros evidenciam que, os resultados obtidos pelas diferentes fontes de enxofre independem da forma de fornecimento

dos micronutrientes. Houve diferenças significativas entre os experimentos para a altura de plantas e de espigas e produtividade de grãos.

Tabela 3 Resumo da análise de variância conjunta envolvendo os três experimentos para as características de altura de plantas (AP), altura de espigas (AE) e produtividade de grãos (PROD). UFLA, Lavras, MG, 2011

FV	GL	Quadrado Médio		
		AP (m)	AE (m)	PROD (Kg ha ⁻¹)
Blocos	12	0,151*	0,050	4116536,87*
Fontes de Enxofre (S)	2	0,023	0,014	601168,14
Forma dos Micros (M)	1	0,007	0,098*	930341,50
Experimentos (E)	2	2,33*	1,227*	93637552,56*
S x M	2	0,011	0,007	812511,29
S x E	4	0,017	0,012	198470,82
M x E	2	0,014	0,026	73319,67
S x M x E	4	0,018	0,025	345514,10
Resíduo	60	0,023	0,024	835431,41
C.V. (%)		6,08	12,01	11,94
Média geral		2,52	1,29	7653

* Teste F significativo aos 5% de probabilidade

A precisão experimental, avaliada pelo coeficiente de variação (C.V.) foi considerada ótima, variando entre 6 e 12%, o que indica alta precisão na condução dos experimentos.

Os resultados médios da altura de plantas, altura de espigas e produtividade de grãos, considerando as diferentes fontes de enxofre estão apresentados na Tabela 4. Verifica-se que não houve diferenças entre as três fontes de enxofre para nenhuma das características avaliadas. Vale ressaltar que a utilização de enxofre na forma elementar também não proporcionou redução significativa nessas características.

Os resultados de produtividade de grãos obtidos são diferentes daqueles obtidos por Czyca et al. (2008), Frandoloso et al. (2010), Malavolta (1996) e

Miranda e Miranda (2008), que encontraram respostas significativas na produtividade de grãos com a aplicação de enxofre em relação as testemunhas sem enxofre. É importante ressaltar que esses autores trabalharam com baixo nível de enxofre ($< 4 \text{ mg dm}^{-3}$). Provavelmente os solos utilizados no presente trabalho não apresentaram deficiência severa de enxofre a ponto de afetar a produtividade de grãos quando se utilizou o tratamento sem enxofre. Possivelmente o solo, na camada subsuperficial (abaixo de 20 cm de profundidade) tinha bons níveis de enxofre, haja vista que são solos cultivados a mais de dez anos em monocultivo de milho e com calagens e adubação de cobertura a base de sulfato de amônio, o que pode ter favorecido a lixiviação do enxofre para o subsolo.

Miranda e Miranda (2008) trabalhou 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 enxofre elementar (S_0) em dois sistemas de cultivo, plantio convencional e plantio direto, e em dois anos agrícolas. Os autores verificaram que todos os tratamentos foram superiores em produtividade de grãos em relação à testemunha sem enxofre.

Tabela 4 Resultados médios nos três experimentos para altura de plantas (AP), altura de espigas (AE) e produtividade de grãos (PROD), considerando as diferentes fontes de enxofre avaliadas. UFLA, Lavras, MG, 2011

Fontes de enxofre	AP (m)	AE (m)	PROD (Kg ha^{-1})
Sem enxofre	2,49 a	1,29 a	7816,65 a
Enxofre do sulfato de amônio	2,54 a	1,32 a	7559,26 a
Enxofre elementar	2,52 a	1,28 a	7585,82 a

As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, aos 5% de probabilidade

Czyzka et al. (2008) avaliou a resposta na produção de grãos da cultura do milho, em função de seis diferentes formulações de fertilizantes contendo enxofre, encontrando resposta na produção de grãos em função do incremento das doses de S. A aplicação dos fertilizantes com S, além de terem

proporcionado um aumento na produtividade da cultura, aumentaram o teor do elemento no solo em relação a testemunha (DAP), sendo que esta diferença representou um ganho de 27 e 23 %, respectivamente. Respostas semelhantes foram obtidas por Prochnow et al. (2007) que verificou contribuição do S₀ no desenvolvimento do milho.

Franceloso et al. (2010) comparou a eficiência do fosfato natural reativo (FNR) e do superfosfato triplo (SFT) associado ao enxofre elementar 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 P₂O₅) e 2 níveis de enxofre (0 e 30 kg ha⁻¹ de enxofre elementar). O índice de eficiência de uso do fertilizante apresentou melhores resultados na presença de enxofre elementar na dose de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para ambas as fontes. A resposta na produção de grãos foi superior nos tratamentos associados ao enxofre elementar.

Malavolta (1996) encontrou um aumento médio de 21% na produção da cultura do milho no Brasil como resposta mediante ao uso do enxofre.

Pelos resultados médios da altura de plantas e produtividade de grãos, considerando as diferentes formas de fornecimento de micronutrientes verificou-se que não houve diferenças entre as duas formas de fornecimento dos micronutrientes para essas características (Tabela 5). Isto indica que a forma de fornecimento de micronutrientes via micro granulado ou micro revestindo o grânulo de adubo (Micro Total) não proporciona diferenças significativas na produtividade de grãos e na altura de plantas. Entretanto é importante ressaltar que os teores de micronutrientes obtidos nas análises de solo realizada previamente à instalação dos experimentos foram médios (Zn e B) e altos para os outros micronutrientes. Isto com certeza pode ter afetado a eficiência do fertilizante Micro total, não permitindo a obtenção de diferenças significativas nas características avaliadas em relação à quando os micronutrientes foram fornecidos na forma granulada.

Verificaram-se diferenças significativas entre os experimentos, para todas as características sendo que no primeiro experimento conduzido em plantio direto obteve-se a maior altura de plantas e de espigas (Tabela 6). A produtividade de grãos foi superior no terceiro experimento sob plantio convencional em Lavras. Essa superioridade em produtividade pode ser devida aos bons níveis da maioria dos macronutrientes como P e K solo e o alto teor de matéria orgânica no solo. O segundo experimento em plantio direto em Ijaci foi inferior aos demais experimentos para todas as características analisadas. A produtividade de grãos obtida nos três experimentos conduzidos variou de 9229 a 5743, kg ha⁻¹, com média de 7653 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 4953 kg ha⁻¹ (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2010).

Tabela 5 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 três experimentos. UFLA, Lavras, MG, 2011

Forma dos micros	AP (m)	AE (m)	PROD (Kg ha⁻¹)
Micro Granulado	2,51a	1,26b	7755,58a
Grânulo Revestido	2,52a	1,33a	7552,24a

As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, aos 5% de probabilidade

A análise foliar foi realizada apenas no experimento conduzido na área experimental da UFLA em plantio direto, que apresentou segundo análise de solo o menor valor de enxofre (5,8 mg dm⁻³) no solo entre os três experimentos. Para todos os teores foliares dos macro e micronutrientes não foram constatadas diferenças significativas para fontes de enxofre, formas de fornecimento dos micronutrientes e interação fontes de enxofre e formas de fornecimento dos

micronutrientes (Tabela 4A). A ausência de interação envolvendo os fatores fontes de enxofre e formas de fornecimento dos micros evidenciam que, os resultados obtidos pelas diferentes fontes de enxofre independem da forma de fornecimento dos micronutrientes. Czycza et al. (2008), Frandoloso et al. (2010) e Miranda e Miranda (2008), também não encontraram diferenças significativas entre os teores foliares de macronutrientes, o que corrobora com o presente trabalho.

Tabela 6 Resultados médios para altura de plantas (AP), altura de espigas (AE) e produtividade de grãos (PROD.), considerando os experimentos avaliados da área experimental do Departamento de Agricultura da UFLA sob plantio direto (SPD) e convencional (CONV.) e em Ijaci/MG, sob plantio direto (SPD). UFLA, Lavras, MG, 2011

Experimentos	AP (m)	AE (m)	PROD (Kg ha⁻¹)
Ufla (SPD)	2,74 a	1,48 a	7988,62 b
Ijaci (SPD)	2,20 c	1,08 c	5743,79 c
Ufla (CONV)	2,61 b	1,48 b	9229,32 a

As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, aos 5% de probabilidade

Os resultados médios dos teores foliares de macro e micronutrientes, considerando as diferentes fontes de enxofre estão apresentados na Tabela 7. Os resultados dos teores foliares dos macronutrientes encontrados neste experimento estão dentro dos níveis de macronutrientes considerados ideais nas folhas de milho, segundo Malavolta (1996). Porém quando se compara com a concentração foliar de nutrientes adequada, segundo Broch e Ranno (2007), para produtividades acima de 8 ton ha⁻¹ de grãos de milho os valores de N, P, S, Mn e Cu estão abaixo da faixa de teor considerada adequada e K, Ca Mg, B e Zn estão na faixa de teor adequado.

Tabela 7 Resultados médios dos teores de macronutrientes (g kg^{-1}) e micronutrientes (ppm), considerando as diferentes fontes de enxofre avaliadas no experimento conduzido sob plantio direto em Lavras. UFLA, Lavras, MG, 2011

Fontes de enxofre	Nutrientes									
	N	P	K	Ca	S	Mg	B	Cu	Mn	Zn
Sem enxofre	27,5a	2,4a	21,3a	4,88a	1,6a	2,8a	15,40a	9,95a	37,95a	25,25a
S sulfato de amônio	24,7a	2,1a	22,9a	5,1a	1,6a	2,9a	14,85a	9,70a	37,15a	25,35a
S elementar	25,7a	2,6a	22,4a	5,5a	1,6a	3,3a	15,25a	9,40a	28,50a	25,30a

As médias na coluna seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, aos 5% de probabilidade

Verifica-se que não houve diferenças entre as três fontes de enxofre para os teores de macro e micronutrientes. Isto indica que os fertilizantes contendo enxofre não proporcionaram melhoria e nem redução nos teores foliares de macro e micronutrientes. Estes resultados são interessantes, pois permitem inferir que a substituição do enxofre proveniente do sulfato de amônio pelo enxofre elementar ou até mesmo a ausência deste na formulação dos fertilizantes não comprometerá a eficiência agrônômica dos fertilizantes.

Os teores de S nas folhas no florescimento encontrados por Miranda e Miranda (2008) variaram de 0,98 a 1,73 g Kg^{-1} . Frandoloso et al. (2010) encontrou valores de 2,57, 1,81 e 17,02 g Kg^{-1} , respectivamente para o P, S e K nos tratamentos com S_0 . Esses resultados são semelhantes aos encontrados neste trabalho (2,4, 1,6 e 21,3 g Kg^{-1}), respectivamente para o P, S e K. Czycza et al. (2008) avaliaram o teor de macronutrientes, incluindo o S no tecido foliar e não constatou diferenças estatística entre os tratamentos.

Entretanto é importante ressaltar que esses resultados podem variar em função do solo, clima, local e também dos teores de enxofre e outros elementos no solo. No caso deste experimento vale lembrar que os teor de enxofre no solo obtido pela análise de solo foi de 5,8 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ valor considerado médio.

Mesmo nesta condição não foi possível detectar efeito da aplicação do enxofre, avaliado pelos teores foliares deste nutriente.

Os resultados médios dos teores foliares de macro e micronutrientes, considerando as duas formas de fornecimento de micronutrientes (Micro Granulado e Micro grânulo revestido) estão apresentados na Tabela 8. Verifica-se que não houve diferenças entre as diferentes formas de fornecimento de micronutrientes para os teores de macro e micronutrientes. Isto indica que para este experimento a forma de fornecimento de micronutrientes via micro granulado ou micro revestindo o grânulo de adubo não proporcionou diferenças significativas nos teores foliares de macro e micronutrientes. Como na escolha das áreas para condução deste experimento não foi levado em consideração os níveis de micronutrientes no solo, estes resultados são perfeitamente aceitáveis.

Tabela 8 Resultados médios dos teores de macro (g kg^{-1}) e micronutrientes (ppm) considerando as diferentes formas de fornecimento de micronutrientes avaliados no experimento conduzido sob plantio direto em Lavras. UFLA, Lavras – MG, 2010

Forma dos micros	Nutrientes									
	N	P	K	Ca	S	Mg	B	Cu	Mn	Zn
Micro granulado	26,6a	2,7a	22,1a	5,1a	1,6a	0,3a	13,2a	9,6a	35,0a	29,2a
Grânulo revestido	26,4a	2,4a	20,9a	5,5a	1,6a	0,3a	15,4a	9,8a	25,8a	26,7a

Médias na coluna seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, aos 5% de probabilidade

4 CONCLUSÕES

Independentemente do sistema de cultivo (plantio direto ou plantio convencional) não foram constatadas diferenças significativas para fontes de enxofre e formas de fornecimento dos micronutrientes nas características agrônômicas e teores foliares de macro e micronutrientes.

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

A forma de fornecimento de micronutrientes via micro granulado ou micro revestindo o grânulo de adubo não proporciona diferenças significativas nos teores foliares de macro e micronutrientes e também na produtividade de grãos e altura de plantas e espiga.

Não foi constatado resposta a aplicação do enxofre na altura de plantas, de espigas, produtividade de grãos e nos teores de nutrientes.

Pode-se inferir que a substituição do enxofre proveniente do sulfato de amônio pelo enxofre elementar em fertilizantes NPK ou até mesmo a ausência deste na formulação dos fertilizantes não comprometerá a eficiência agrônômica dos fertilizantes.

REFERÊNCIAS

- BROCH, D. L.; RANNO, S. K. **Tecnologia e produção-milho 2007-2008:** adubação com enxofre e interpretação da análise foliar. Dourados: Fundação Mato Grosso do Sul, 2007. p. 149-150.
- COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. Nutrição e adubação: seja doutor do seu milho. **Arquivo do Agrônomo**, Piracicaba, n. 2, p. 1-9, set. 1995.
- 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. 359 p.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. 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. 2010.
- CZYCZA, R. V. et al. Eficiência agrônômica de diferentes fertilizantes contendo enxofre para a cultura do milho. In: FERTIBIO - REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 28., 2008, Londrina. **Resumos...** Londrina: IAPAR, 2008. p. 36-40.
- FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do SISVAR para windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Programa e Resumo...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 235.
- FRANDOLOSO, J. F. et al. Eficiência de adubos fosfatados associados a enxofre elementar na cultura do milho. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 57, n. 5, p. 686-694, set./out. 2010.
- HERINGER S. A. Disponível em: <<http://www.heringer.com.br/produtos/fhmicrototal>>. Acesso em: 20 fev. 2011.
- MALAVOLTA, E. **Nutri – Fatos:** informação agrônômica sobre nutrientes para as culturas. Arquivo do Agrônomo, Piracicaba, n. 10, p. 11-12, 1996.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas:** princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MIRANDA, L. N.; MIRANDA, J. C. C. **Adubação de enxofre para a cultura do milho, sob plantio convencional e direto em solo do cerrado**. Planaltina: [s. n.], 2008. Comunicado técnico, 143.

PROCHNOW, L. I. et al. **Agronomic effectiveness of sources of sulfur in four Brazilian soils**. New Orleans: International Annual Meetings, 2007.

STIPP, S. R.; CASARIN, V. A importância do enxofre na agricultura brasileira. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 129, p. 13-20, mar. 2010.

APÊNDICES

Tabela 1A Resumo da análise de variância para a altura de plantas (AP) e de espigas (AE) e produtividade de grãos (PROD) para o experimento conduzido sob plantio direto em Lavras, MG. UFLA, Lavras, MG, 2011

FV	GL	Q M		
		AP (m)	AE (m)	PROD (Kg ha ⁻¹)
Blocos	4	0,032	0,037**	817941,84
Fontes de Enxofre (S)	2	0,030	0,006	284518,90
Forma dos Micros (M)	1	0,008	0,001	725808,74
S x M	2	0,052	0,015	830857,84
Resíduo	20	0,025	0,008	1067144,73
CV (%)		5,77	6,25	12,03
Média geral		2,74	1,48	7989

** Teste F significativo em 1% de probabilidade.

Tabela 1B Resumo da análise de variância para a altura de plantas (AP) e de espigas (AE) e produtividade de grãos (PROD) para o experimento conduzido sob plantio direto em Ijaci, MG. UFLA, Lavras, MG, 2011

FV	GL	Q M		
		AP (m)	AE (m)	PROD (Kg ha ⁻¹)
Blocos	4	0,092**	0,003	5671659,89**
Fontes de Enxofre (S)	2	0,020	0,028	472721,90
Forma dos Micros (M)	1	0,012	0,052	102259,57
S x M	2	0,003	0,023	496621,84
Resíduo	20	0,021	0,055	336571,21
CV (%)		6,70	8,25	10,10
Média geral		2,20	1,08	5744

** Teste F significativo em 1% de probabilidade

Tabela 1C Resumo da análise de variância para a altura de plantas (AP) e de espigas (AE) e produtividade de grãos (PROD) para o experimento conduzido sobplântio convencional em Lavras, MG. UFLA, Lavras, MG, 2011

FV	GL	Q M		
		AP(m)	AE (m)	PROD (Kg ha ⁻¹)
Blocos	4	0,010**	0,043**	641591,41
Fontes de Enxofre (S)	2	0,003	0,004	240869,63
Forma dos Micros (M)	1	0,016	0,028	248912,53
S x M	2	0,042	0,019	176060,94
Resíduo	20	0,015	0,011	833819,60
CV (%)		4,81	8,11	9,89
Média geral		2,61	1,33	9229

** Teste F significativo em 1% de probabilidade.

Tabela 1D Resumo da análise de variância para os teores foliares expresso em g kg⁻¹ de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, enxofre, magnésio, e expressos em ppm de boro, cobre, manganês e zinco. Obtidos no experimento sob plantio direto em Lavras, MG. UFLA, Lavras, MG, 2011

FV	GL	Q M									
		N	P	K	Ca	S	Mg	B	Cu	Mn	Zn
Blocos	4	0,006	0,004	0,063	0,08	0,053	0,003	1,40	0,007	6,60	0,27
Fontes de Enxofre (S)	2	0,007	0,013	0,004	0,02	0,001	0,018	1,98	0,573	66,98	9,54
Formas dos Micros (M)	1	0,011	0,006	0,003	0,01	0,003	0,008	2,16	0,140	11,80	1,76
S x M	2	0,036	0,004	0,027	0,00	0,002	0,005	1,89	0,123	44,28	2,25
Resíduo	20	0,019	0,003	0,012	0,02	0,001	0,002	2,20	0,612	23,49	9,50
CV (%)		5,35	7,44	5,09	10,28	3,57	4,54	9,88	8,17	14,17	11,76
Média geral		26,4	2,5	21,7	5,2	1,6	3,1	15,04	9,55	32,82	26,21

** Teste F significativo em 1% de probabilidade