

Câmpus
Ipameri



Universidade
Estadual de Goiás



Programa de Pós-Graduação em Produção

**OXIDAÇÃO DE ENXOFRE ELEMENTAR E ABSORÇÃO PELO
MILHO EM FUNÇÃO DE DIFERENTES FERTILIZANTES E
DOSES.**

RAFAEL JOSÉ OLIVEIRA

**M
E
S
T
R
A
D
O**

**Ipameri - GO
2018**

RAFAEL JOSÉ OLIVEIRA

**OXIDAÇÃO DE ENXOFRE ELEMENTAR E ABSORÇÃO PELO
MILHO EM FUNÇÃO DE DIFERENTES FERTILIZANTES E
DOSES.**

Orientador: Prof. Dr. Adilson Pelá

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Goiás – Câmpus Ipameri como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal para obtenção do título de MESTRE.

IPAMERI – GO
2018

OLIVEIRA, Rafael José.

Oxidação de enxofre elementar e absorção pelo milho em função de diferentes fertilizantes e doses. - 2018.

51 f. il.

Orientador: Prof. Dr. Adilson Pelá.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Goiás – Câmpus Ipameri, 2018.

Bibliografia.

1. *Zea mays*. 2. Adubação sulfatada. 3. oxidação enxofre elementar

I. Título Oxidação de enxofre elementar e absorção pelo milho em função de diferentes fertilizantes e doses.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

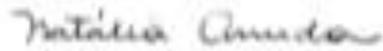
TÍTULO: "OXIDAÇÃO DE ENXOFRE ELEMENTAR E ABSORÇÃO PELO MILHO EM FUNÇÃO DE DIFERENTES FERTILIZANTES E DOSES"

AUTOR(A): Rafael José Oliveira

ORIENTADOR(A): Adilson Pelá

Aprovado(a) como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM PRODUÇÃO VEGETAL, pela comissão Examinadora:


Prof. Dr. ADILSON PELÁ
Universidade Estadual de Goiás/Câmpus Ipameri-GO


Dra. NATÁLIA ARRUDA
Universidade Estadual de Goiás/PNPD/Câmpus Ipameri-GO


Prof. Dr. NEI PEIXOTO
Universidade Estadual de Goiás/Câmpus Ipameri-GO

Data da realização: 26 de março de 2018

Dedico a minha esposa Mayra, meu irmão João Otávio, a minha mãe Conceição, familiares e amigos que sempre me apoiaram.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por todas as bênçãos em minha vida.

A Universidade Estadual de Goiás – Câmpus Ipameri e a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PRP) pela oportunidade da formação acadêmica e apoio para realização desta dissertação.

Ao meu Orientador Prof. Dr. Adilson Pelá pela orientação, empenho, paciência e ajuda na elaboração deste trabalho.

Ao mestre em agronomia Renan César pela colaboração durante todo período do desenvolvimento dessa dissertação.

Ao discente de agronomia Geovani Soares, pela contribuição na realização desta dissertação.

Aos meus amigos mestrados que sempre me apoiaram e ajudaram, contribuindo para minha formação.

Muito obrigado!

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	7
GENERAL ABSTRACT.....	8
1.INTRODUÇÃO GERAL	9
1.1 ENXOFRE NO SOLO	9
1.1.1 Deficiência de enxofre no solo	9
1.1.2 Oxidação de enxofre no solo.....	10
1.2 FONTES DE FERTILIZANTES COM ENXOFRE	11
1.3 IMPORTÂNCIA DO MILHO.....	12
1.3.1 Aspectos da nutrição com enxofre no milho	14
REFERENCIAS	15
2 CAPÍTULO 1. OXIDAÇÃO DE ENXOFRE ELEMENTAR EM DIFERENTES FONTES E DOSES DE FERTILIZANTES	
RESUMO.....	18
ABSTRACT.....	19
2.1 INTRODUÇÃO.....	20
2.2 OBJETIVOS	23
2.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	24
2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
2.5 CONCLUSÕES	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
3 CAPÍTULO 2: EFICIÊNCIA DE ABSORÇÃO DE ENXOFRE APLICADO NA FORMA ELEMENTAR EM DIFERENTES FONTES E DOSES PELO MILHO	
RESUMO.....	35
ABSTRACT	36
3.1 INTRODUÇÃO.....	37
3.2 OBJETIVOS	39
3.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	40
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
3.4.1 Efeito das fontes nos teores de S na planta.....	42
3.4.2 Efeito das doses nos teores de S na planta.....	43
3.5 CONCLUSÕES	48
4 CONCLUSÃO GERAL	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

RESUMO GERAL

O enxofre é reconhecido, junto com Nitrogênio, Fósforo e Potássio, como um nutriente essencial ao desenvolvimento das culturas. Na agricultura com a utilização de fertilizantes concentrados, alta extração pelas culturas devido a maior produtividade, levaram as indústrias de fertilizantes a desenvolverem produtos revestidos com enxofre. O milho (*Zea mays* L.) é uma importante cultura em muitas partes do mundo, sendo os maiores produtores os Estados Unidos (34,6%), a China (20,8%), e o Brasil (9,2%). Diante do exposto, o objetivo desta pesquisa é avaliar a eficiência na absorção de S pelo milho em função da aplicação de enxofre elementar em diferentes doses e fontes na cultura do milho. Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação entre novembro de 2016 a julho de 2017, na área experimental da UEG. Foi utilizado o híbrido BG7439H avaliado sob delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 4x5, com quatro repetições. O primeiro fator foi composto pelas fontes revestidas por enxofre elementar: 1 - ureia, 2 - superfosfato triplo (TSP), 3 - fosfato monoamônico (MAP), e 4 - enxofre elementar em forma de pastilhas. O segundo fator foram as doses de S (0, 32, 64, 96 e 128 mg dm⁻³ de solo). O solo foi coletado na camada de 0-20 cm e passado na peneira com malha de 2,0 mm. Uma amostra foi submetida às análises químicas e físicas. Após a adição de S-elementar as amostras de solo foram incubadas por períodos de 0, 15, 30, 45 e 60 dias, com 60% da sua capacidade máxima de retenção de água. Independentemente da fonte de fertilizante fornecida não foram constatadas diferenças significativas para o aproveitamento desse nutriente pela planta. As diferentes fontes de enxofre afetaram as características de modo semelhante e independem da forma de fornecimento do nutriente.

Palavras-Chave: *Zea mays*; Adubação sulfatada; Fertilizantes revestidos.

ABSTRACT

Sulfur is recognized, along with nitrogen, phosphorus and potassium, as an essential nutrient to the development of crops. In agriculture with the use of concentrated fertilizers, high crop extraction due to higher yield, led the fertilizer industries to develop sulfur coated products. Corn (*Zea mays* L.) is an important crop in many parts of the world, with the United States (34.6%), China (20.8%) and Brazil (9.2%). Considering the above, the objective of this research is to evaluate the efficiency of the absorption of S by maize as a function of the application of elemental sulfur in different doses and sources in maize. The experiments were conducted in greenhouse between november 2016 and july 2017, in the experimental area of the UEG. The hybrid BG7439H was evaluated under entirely randomized diagram in 4x5 factorial, with four replicates. The first factor was composed by the elemental sulfur coated sources: 1 - urea, 2 - triple superphosphate (TSP), 3 - monoammonium phosphate (MAP), and 4 - elemental sulfur tablets. The second factor was the doses of S (0, 32, 64, 96 and 128 mg dm⁻³ of soil). The soil was collected in the 0-20 cm layer and passed in the sieve with 2.0 mm mesh. A sample was submitted to chemical and physical analysis. After addition of S- elemental soil samples were incubated for periods of 0, 15, 30, 45 and 60 days, with 60% yours maximum retention capacity of Water. Irrespective of the source of fertilizer supplied, no were observed significant differences for the use of this nutrient by plant. The different sources of sulfur affected characteristics in a similar way and independent of the way the nutrient supplied.

Keywords: *Zea mays*; Sulphated fertilization; Coated fertilizers.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enxofre no Solo

O enxofre (S) está presente no solo nas formas orgânica e inorgânica, sendo predominantemente encontrado na forma orgânica cerca de 90% do total, porém apenas a forma inorgânica é absorvida diretamente pela planta (em torno de 10%). Os minerais primários, em especial os sulfetos metálicos de Fe, Zn, Cu, Ca e Mg, e o gesso são fontes originais encontradas no solo. Através de ações físicas, químicas e biológicas a que estão sujeitos, estes minerais são transformados (biótica ou abioticamente) em compostos ou formas que podem ser aproveitados pelas plantas ou por outros microrganismos (STIPP e CASARIN, 2010).

A entrada de S no solo pode ocorrer de diversas formas, através das alterações físicas e químicas de minerais sulfatados, pelas águas da chuva e irrigação, pela adsorção direta do S atmosférico e pela adição de fertilizantes minerais ou orgânicos. Por outro lado, as saídas deste elemento estão relacionadas às exportações pelas culturas, à lixiviação, a erosão e a emissão de gases sulfurados (OSÓRIO FILHO, 2006).

A redução dos níveis de enxofre nos solos tropicais se deve principalmente por uma utilização cada vez maior de fontes concentradas de nitrogênio (N) e fósforo (P), em fertilizantes que não contém S em suas fórmulas, diminuição do uso de pesticidas sulfurados, desgaste solo pela extração das culturas, redução da fonte de S das águas das chuvas e controle da emissão atmosférica de dióxido de S provenientes da queima de combustíveis fósseis, além das deficiências naturais de determinados solos como o do Cerrado.

Já a reposição principal de S no solo acontece de maneira indireta, com a aplicação de fertilizantes nitrogenados, fosfóricos e potássicos. Os tipos de fertilizantes sulfatos mais comuns são: sulfato de amônio (24% de S), superfosfato simples (12% de S), gesso agrícola (14-18% de S), sulfato de potássio e magnésio (22% de S).

A importância de enxofre na agricultura tem sido reconhecida por mais de um século (HART e PETERSON, 1911). Com a utilização de fertilizantes mais concentrados em nitrogênio (N) e fósforo (P), alta extração pelas culturas devido a maior produtividade, entre outros fatores levaram a maior deficiência desse nutriente para as plantas.

1.1.1 Deficiência de Enxofre no Solo

A deficiência de S pode ser observada em algumas regiões do Brasil, especialmente em solos do Cerrado, em razão da baixa fertilidade do solo, associada à pequena quantidade de

matéria orgânica (MO), ao aumento da exportação de S pelos grãos, causados por produtividades elevadas, e à lixiviação de sulfato, acentuada pela aplicação de calcário e fósforo (VITTI et al., 2007).

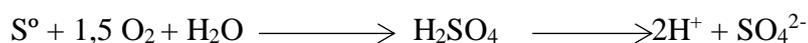
O enxofre apresenta grande importância no desenvolvimento das plantas por fazer parte da constituição proteica, entre outros constituintes, e contribuir com o mecanismo de defesa da planta contra pragas e doenças (STIPP e CASARIN, 2010). A deficiência de enxofre na planta assim como a de nitrogênio reduz o crescimento e diminui a produção de grãos. Entretanto, o suprimento adequado de S aos vegetais aumenta a utilização de N na síntese proteica (Rubisco), aumentando o índice fotossintético das folhas e a produção da cultura de milho (SILVA et al., 2003).

Segundo Barros e Calado (2014), o cálcio (Ca), o magnésio (Mg) e o enxofre (S) são macronutrientes considerados secundários porque indiretamente são adicionados ao solo através da calagem, da gessagem e de alguns fertilizantes NPK de baixa concentração, pouco utilizados em função de um custo mais elevado nas adubações.

1.1.2 Oxidação de Enxofre no Solo

A principal forma de absorção de S pelas plantas é a mineral, como ânion (SO_4^{2-}) Sulfato, apesar de as plantas serem aptas a absorverem S via foliar, a maior parte da absorção se dá via radicular, principalmente por fluxo de massa (OSÓRIO FILHO, 2006). O sulfato é fornecido às plantas por meio da ação microbiota que ao decompor os compostos orgânicos, os desenvolve na forma de SO_4^{2-} ao solo por mineralização. A bactéria da espécie *Acidithiobacillus thiooxidans* executa uma função importante nesse processo de biolixiviação, por ser capaz de oxidar enxofre elementar (S^0) e, como consequência, produzir ácido sulfúrico, que contribui na manutenção do sistema reacional na faixa ácida de interesse (OLIVEIRA et al., 2010). A oxidação ocorre por meio de reações catalisadas por enzimas (arisulfatases e rodanases) produzidas pelos microrganismos dos solos, como a bactéria citada, além de demais fungos e bactérias. A oxidação do enxofre elementar é demonstrada a seguir:

Thiobacillus



Dos microrganismos responsáveis pelo processo de oxidação, as espécies quimioautotróficas do gênero *Thiobacillus* oxidam compostos reduzidos de enxofre. Entre estas bactérias, as espécies *T. thiooxidans*, *T. ferrooxidans*, *T. neapolitanus*, *T. kabobis*, *T. denitrificans*, *T. perometabolis* e *T. thioparus*, têm a capacidade de oxidar o S-elementar (HOROWITZ, 2003).

A capacidade de oxidação das diferentes espécies está relacionada com o pH do meio (HOROWITZ e MEURER, 2006). Além disso, a oxidação também pode ser mediada por microrganismos heterotróficos como as bactérias *Bacillus brevis*, *Micrococcus spp.*, os actinomicetos *Spretomyces spp* e os fungos *Absidia glauca*, *Penicillium decumbens* e, principalmente, *Fusarium solani*.

Para Vitti et al (2015), o processo de oxi-redução do S apresenta-se de maneiras distintas e com duas implicações importantes no solo, podendo haver tanto a oxidação do sulfeto e do S⁰ para a forma de sulfato, o que ocasionará a redução do pH do solo, quanto redução do sulfato para a forma de sulfeto, com elevação do pH do solo.

A adubação sulfatada como meio de nutrição pode ser realizada usando-se tanto fontes tradicionais de enxofre como fontes mais modernas obtidas a partir do enxofre elementar. As alternativas para o uso de S⁰ no solo são: S pastilhado; S incorporado em grânulos fosfatados e S revestindo ureia, fosfato monoamônico (MAP), e superfosfato triplo (VITTI et al., 2015).

De acordo com Horowitz e Meurer (2006), a avaliação do potencial de uso do enxofre elementar como fertilizantes é necessário medir a taxa de oxidação, que é dependente das características do solo. A determinação da taxa de oxidação é necessária para indicar se o solo tem atividade microbiológica suficiente para oxidar o S elementar para S sulfato, sendo essa a forma disponível para planta.

1.2 Fontes de Fertilizantes com Enxofre

A forma mais concentrada é o enxofre elementar (S⁰), aplicado na forma de pó misturado às argilas (bentonita) ou recobrimo fertilizantes, como a ureia, permitindo assim o uso de fórmulas ricas em NPK (LUCHETA, 2010).

As fontes de enxofre utilizadas na agricultura brasileiras mais comuns são o superfosfato simples e o sulfato de amônio, utilizadas isoladamente ou em formulações NPK de baixa concentração, o que proporciona elevado custo de adubação, em relação a frete, armazenagem e rendimento operacional. A utilização de enxofre elementar, contendo 90% de S, revestindo os fertilizantes comerciais é uma alternativa que pode aumentar a concentração dos nutrientes nas formulações e reduzir os custos de produção, transporte e aplicação do fertilizante (VITTI et al., 2015).

O uso S⁰ como fertilizante é uma alternativa que reduz os custos para reabastecer S perdido a partir do solo e permite a utilização de formulários comerciais concentradas de N e P. As fontes são revestidas com enxofre elementar fundido no grânulo proporcionando um fornecimento de enxofre balanceado, reduzindo a higroscopicidade e melhorando a qualidade

física do fertilizante. A ureia revestida com enxofre apresenta 37% N e 16% S, relação equilibrada de N/S em relação às fontes convencionais disponíveis no mercado. Os fosfatados revestidos com enxofre, fosfato monoamônico (MAP) e superfosfato triplo (TSP) apresentam respectivamente 9% N e 43% P₂O₅ com 16% S revestido o grânulo, e 37% P₂O₅ e 16% S, visando o fornecimento de forma equilibrada para diversas culturas (VITTI et al., 2015).

A principal fonte de nitrogênio no Brasil é a ureia CO(NH₂)₂ é caracterizada como fertilizante sólido granulado com concentração por volta de 44 e 46% de nitrogênio na forma amídica (CANTARELLA, 2007). A ureia apresenta outras vantagens, além da elevada concentração de N, podendo citar menor custo com fabricação, transporte, armazenagem, aplicação, alta solubilidade, baixa corrosividade e facilidade de mistura com outras fontes.

Os fertilizantes provenientes do revestimento da ureia com enxofre (sulfur coated urea, SCU), foram os primeiros a ser desenvolvidos à escala comercial. O revestimento de enxofre pode ser considerado impermeável à membrana, que se degrada lentamente no solo através dos processos microbiológicos, químicos e físicos (MARTINS, 2013).

O superfosfato simples é um fertilizante de rápida solubilidade e com teor de enxofre na forma de sulfato (S-SO₄²⁻) na sua composição, disponibilizando facilmente para as culturas, já outras fontes, como o S elementar, precisam sofrer algumas reações de oxidação no solo para ficarem disponíveis, sendo transformados em SO₄²⁻. Pois, segundo Horowitz e Meurer (2006), as plantas somente conseguem absorver o S elementar aplicado no solo depois de sua oxidação a sulfato, oxidação esta catalisada por enzimas produzidas principalmente por microrganismos.

Já os fosfatos solúveis em água mais comumente utilizados são o superfosfato simples (SSP), o superfosfato triplo (TSP) e os fosfatos de amônio (monoamônico – MAP e diamônico – DAP) e são amplamente utilizados como fonte padrão de fósforo em experimentos que avaliam a eficiência agrônômica relativa de fontes de P (BOLAN et al., 1990, apud MENDONÇA 2015).

1.3 Importância do Milho

O milho (*Zea mays* L.) é uma espécie que pertence à família *Gramineae/Poaceae*, com origem no teosinto, *Zea mays*, subespécie mexicana (*Zea mays ssp. mexicana* (Schrad.) Iltis, há mais de 8000 anos e que é cultivada em muitas partes do Mundo (Estados Unidos da América, China, Brasil, Índia, França, Indonésia, África do Sul entre outros), sendo os maiores produtores os Estados Unidos (34,6%), a China (20,8%), e o Brasil (9,2%) segundo dados da CONAB (2017).

É considerado um alimento energético para as dietas humana e animal, devido à sua composição rica em carboidratos (amido) e lipídeos (óleo). O óleo de milho é rico em ácidos graxos, importante na prevenção de doenças cardiovasculares e no combate ao colesterol elevado. O cereal também é fonte de vitamina E, carotenóides (zeaxantina e luteína), que possuem ação anticancerígena, produtos do milho são considerados importantes fornecedores de fibras, especialmente do tipo insolúveis (hemicelulose, celulose e lignina) que colaboram na melhora da constipação intestinal, prevenção do câncer de intestino e da diverticulite, possuindo, portanto, elevado valor funcional (PAES, 2006).

O milho é praticamente cultivado em todo o território nacional, com produção estimada em 97,2 milhões de toneladas para a safra 16/17. A área plantada para o ciclo de verão apresentou um incremento nacional de 3,6 % em relação ao período anterior, são 30, 5 milhões de hectares tendo a região Centro – Sul ampliado em 6,3% sua área de plantio. Em Goiás, o milho colhido apresentou excelente rendimento nesta temporada, atingindo 8.000 kg ha⁻¹ (CONAB, 2017).

No decorrer da década de 1990, o processo de deslocamento de culturas do milho da safra normal para a soja intensificou-se, parte do cereal passou a ser cultivado em sucessão à oleaginosa, como “milho safrinha”, definido como milho de sequeiro cultivado extemporaneamente, de janeiro a abril, quase sempre depois da soja precoce, na região Centro-Sul (CRUZ, 2011). Nos últimos anos com destaque dessa produção nos Estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Paraná e Goiás, na Região Centro-Oeste, principal produtora nacional do milho safrinha, a área plantada está estimada em 7.504 mil hectares, representando um acréscimo de 11,2% em relação ao plantio, e uma produção nacional de 66,6 milhões de toneladas, de acordo com os dados do último levantamento (CONAB, 2017).

O Brasil está entre os maiores exportadores mundiais do grão, este ano o país já embarcou cerca de 35 milhões de toneladas, logo atrás dos Estados Unidos (56,5 milhões), seguido da Argentina (27,5 milhões). Possui uma importância econômica que vai desde a produção destinada às indústrias alimentícias, que transformam os grãos em diversos produtos, amido, farinhas, canjica, flocos de milho, fubá entre outros, alimentação animal até a indústria de alta tecnologia, como a produção de filmes e embalagens biodegradáveis (BARROS e CALADO, 2014).

1.3.1 Aspectos da Nutrição com S do Milho

O enxofre (S) é um elemento vital para todos os organismos devido ao seu importante papel na biossíntese de metionina e cisteína. A cisteína não é apenas um constituinte importante

de proteínas, mas também é essencial para determinar a conformação estrutural de proteínas e ligação a metais, e contribui para a catálise de reações enzimáticas (KERTEZS et al., 2007).

O enxofre é essencial para a síntese da coenzima A, que é importante para a biossíntese de ácidos graxos e oxidação, a captação de aminoácidos, a oxidação de intermediários do ciclo do ácido cítrico, e para a oxidação de ferredoxina, o qual é vital para a fotossíntese e a fixação biológica (HAVLIN et al., 2005).

A cultura do milho desenvolve-se em diversos solos, sobretudo em condições de solos bem estruturados que permitam a circulação da água e do ar, drenagem e disponibilidade de nutrientes. Para uma produção em potencial, é necessária a presença de nitrogênio (N) que aumenta o teor de proteína do grão; o fósforo (P) favorece o desenvolvimento radicular; o potássio (K) é responsável por aumentar a taxa fotossintética (BARROS e CALADO, 2014).

As exigências de enxofre pelas culturas variam muito de acordo com a espécie e com a produtividade esperada. De acordo com Alvarez et al. (1999) os teores ideais de enxofre na folha variam de 1 a 2 g kg⁻¹, em que nesses valores a planta não apresenta deficiência, caracterizada pela clorose nas folhas mais novas devido a imobilidade no nutriente na planta.

As quantidades de S extraídas e exportada pelo milho é 2,5 kg t⁻¹ e 1,2 kg t⁻¹ (MALAVOLTA et al., 1997) em que com uma produtividade de 11,2 t ha⁻¹ a quantidade de enxofre total seria de 34 kg ha⁻¹ (VITTI et al., 2015).

O milho apresentam absorção radicular de S retendo grande parte desse nutriente na própria raiz, sendo assim, é importante a manutenção dos níveis críticos de S no solo. A concentração do íon na solução do solo e a taxa de transpiração do vegetal determinam a absorção do enxofre (SILVA et al., 2003).

Em geral, a literatura informa que a maior parte do N, P e S absorvidos pelas plantas de milho são exportados nos grãos, enquanto grande parte do K, Ca, Mg e micronutrientes ficam retidos na palhada e retornam ao solo com a decomposição dos restos culturais (COELHO et al., 2008).

No grupo das culturas de média/alta exigência incluem-se as leguminosas, que, de um modo geral, são mais exigentes que as gramíneas, em função de seu teor mais elevado de proteínas (ALVAREZ et al., 2007 e RHEINHEIMER et al., 2005).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. CFSEEMG, Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 24-32.
- ALVAREZ, V. H; NOVAIS, R.F; BARROS, N.F; FONTES, R.L; CANTARUTTI, R.B; FONTES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência e Solo, 2007.
- BARROS, J. F. C; CALADO, J.G. **A cultura do milho**. Portugal: Universidade de Évora Departamento de Fitotecnia, 2014, p 4 - 37.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V.; V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (eds). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 375-470, 2007.
- COELHO, A.M.; RESENDE A.V. de R. Exigências nutricionais e adubação do milho safrinha. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. 10 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 111).
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Acompanhamento de safra brasileira: **Grãos décimo primeiro levantamento**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253>> Acesso em 25/09/2017.
- CRUZ, J.C et al. **Boas práticas agrícolas: milho**. 21 ed. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2011.
- HAVLIN, J.L; BEATON, J.D; TISDALE, S.L; NELSON, W.L. **Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management**. 7 ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2005. chap. 7. 528p.
- HART, E.B; PETERSON, W.H Os requisitos de enxofre de culturas agrícolas em relação ao solo e do ar de alimentação. **Geléia Chem. Soc.**, v. 33, p. 49-564, 1911.
- HOROWITZ, N. **Oxidação e eficiência agrônômica do enxofre elementar em solos do Brasil**. 2003. 109 p. Tese (Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- HOROWITZ, N.; MEURER, E.J. Oxidação do enxofre elementar em solos tropicais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, p. 822-828, 2006.
- HOROWITZ, N.; MEURER, E.J. Relação entre atributos de solos e oxidação de enxofre elementar em quarenta e duas amostras de solos do Brasil. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.31, n.1, p.455-463, 2007.
- KERTESZ, M.A; FELLOWS, E; SCHMALENBERGER, A. **Rhizobacteria and plant sulfur supply**. Advances in Applied Microbiology, New York, v. 62, p. 235-268, 2007.
- LUCHETA, A.R. **Oxidação microbiológica do enxofre elementar no solo**. 2010. 178f. Tese (Doutorado Agronomia) - Escola Superior de Agricultura, Universidade de São Paulo, SP. 2010.

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

MARTINS, I.S. **Doses, épocas e modos de aplicação da ureia comum e revestida na cultura do milho**. 2013. 77f. (Dissertação de Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp, Jaboticabal, 2013.

MENDONÇA, R.S. **Fontes de fertilizantes nitrogenados para a cultura do milho**. Sete Lagoas: Universidade Federal de São João Del Rei, 2015.

OLIVEIRA, D. M.; SÉRVULO, E. F. C.; SOBRAL, L. G. S.; PEIXOTO, G. H. C.. **Biolixiviação**: utilização de microorganismos na extração de metais. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.

OSÓRIO FILHO, B.D. **Dinâmica de enxofre no sistema solo e resposta das culturas à adubação sulfatada**. 2006. 76f. Tese (Mestrado em Ciências do Solo) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, RS. 2006.

PAES, M.C.D. **Aspectos Físicos, Químicos e Tecnológicos do Grão de Milho**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, p. 02 – 06, dez. 2006.

RHEINHEIMER, D. S; ALVAREZ, J.W.R; OSORIO FILHO, B.D; SILVA, L.S; BORTOLUZZI, E.C. Resposta de culturas à aplicação de enxofre e a teores de sulfato num solo de textura arenosa sob plantio direto. **Ciência Rural**, v. 35, n. 03, p. 562-569, 2005.

SILVA, D.J, VENEGAS, V.H.A; RUIZ, H.A; SANT'ANNA, R. Translocação e redistribuição de enxofre em plantas de milho e de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, n. 6, p. 715-721, 2003.

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

VITTI, G.C; FAVARIN, J.L; GALLO, L.A; PIEDADE, S.M.S; FARIA, M.R.M; CICARONE, F. Assimilação foliar de enxofre elementar pela soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 02, p. 225-229, 2007.

VITTI, G.C; OTTO, R; SAVIETO, J. Manejo do enxofre na agricultura. **Informações Agronômicas**, n.152, p. 02 – 12, dez. 2015.

**2. CAPITULO 1 - OXIDAÇÃO DE ENXOFRE ELEMENTAR EM
DIFERENTES FONTES E DOSES DE FERTILIZANTES**

RESUMO

O enxofre elementar pode ser considerado fertilizante, porém se as condições de solo, fonte e cultura na qual o elemento for aplicado permitam a conversão em sulfato (SO_4^{2-}), para que isso aconteça é necessário que ele seja oxidado tornando-se disponível às plantas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a oxidação do enxofre elementar no solo revestindo diferentes fertilizantes. O experimento foi instalado entre novembro de 2016 a março de 2017, sendo conduzido na área experimental da UEG, em Ipameri-GO. O delineamento experimental foi inteiramente casualizados (DIC), arranjado em esquema fatorial 4×5 , com quatro repetições. O primeiro fator foi composto pelas fontes revestidas por enxofre elementar: 1- ureia, 2 - superfosfato triplo (TSP), e 3 - fosfato monoamônico (MAP), e 4 - enxofre elementar em forma de pastilhas. O segundo fator foram as doses de S (0, 32, 64, 96 e 128 mg dm^{-3} de solo). Após a adição de S-elementar, as amostras de solo foram incubadas por períodos de 0, 15, 30, 45 e 60 dias, com 60% da sua capacidade máxima de retenção de água. Após a secagem determinou o teor de S- SO_4 . Verificou-se que a adição de S-elementar com as diferentes fontes, logo após a aplicação, reduziu a disponibilidade de S- SO_4 no solo, e o aumento das doses até 128 mg dm^{-3} de S não foi suficiente para compensar essa redução. Aos 45 dias de incubação, a disponibilidade de S- SO_4 no solo aumentou até a dose de 77, 25 mg dm^{-3} de S com ureia, e 95,4 mg dm^{-3} de S aos 45 dias com MAP.

Palavras-Chave: Fertilizantes; Solo; Adubação sulfatada.

ABSTRACT

The elemental sulfur can be considered as fertilizer, but if the conditions of soil, source and culture in which the element is applied allow the conversion to sulphate (SO_4^{2-}), for this to happen it must be oxidized making it available to the plants. The objective this work was to value the oxidation of elemental sulfur in the soil coating different fertilizers. The experiment was installed between november 2016 and march 2017, being conducted in the UEG experimental area in Ipameri-GO. The experimental design was completely randomized (DIC), arranged in a 4x5 factorial scheme, with four replications. The first factor was composed of the elemental sulfur coated sources: 1 - urea, 2 - triple superphosphate (TSP), and 3 - phosphate monoammonium (MAP), and 4 - elemental sulfur tablets. The second factor was the doses of S (0, 32, 64, 96 and 128 mg dm^{-3} of soil). After addition of S-elemental, soil samples were incubated for periods of 0, 15, 30, 45 and 60 days, with 60% your maximum of water retention capacity. After drying, the S- SO_4 content was determined. It was observed that the addition of S-elemental to the different sources shortly after application reduced the availability of S- SO_4 in the soil, and increasing doses up to 128 mg dm^{-3} of S was not sufficient to compensate for this reduction . At 45 days of incubation, the availability of S- SO_4 in the soil increased up to the dose of 77, 25 mg dm^{-3} of S with urea, and 95,4 mg dm^{-3} of S at 45 days with MAP.

Keywords: Fertilizers; Ground; Sulphated fertilization.

2.1 INTRODUÇÃO

A importância do enxofre (S) para as plantas é indiscutível, pela presença essencial dos aminoácidos sulfurados cistina e metionina nas proteínas vegetais. No solo esse nutriente é encontrado predominantemente na forma orgânica, mas apenas a forma inorgânica pode ser absorvida pelas plantas. Um solo rico em matéria orgânica garante um aporte de S às plantas, através da mineralização. Entretanto, o uso do solo de maneira inadequada, o uso desenfreado de corretivos e fertilizantes concentrados com ausência de S, e as exportações deste elemento pelas colheitas reduzem a sua disponibilidade, sendo necessária a incorporação por meio da adubação sulfatada (OSÓRIO FILHO, 2006).

O enxofre desempenha um papel muito importante no metabolismo da planta, fazendo parte de aminoácidos, proteínas, moléculas de cloroplasto, coenzimas, sulfolípidos, flavonóides, lípidos, glucosinolatos, polissacarídeos, compostos não saturados, compostos reduzidos entre outras funções metabólicas (STIPP e CASARIN, 2010). Desempenhando funções essenciais ao desenvolvimento e à qualidade da produção, participa desde a constituição fisiológica, controle hormonal, fotossíntese até os mecanismos de defesa da planta, contribuindo na proteção contra pragas e doenças (CÉSAR, 2012). De acordo com Vitti et al., (2015) o nitrogênio e o enxofre participam juntos no metabolismo das plantas, por meio de duas rotas principais: formação de proteínas de qualidade; fixação biológica do N do ar e incorporação do N mineral em aminoácidos. A relação N/S varia de 10-15/1 e está associada ao crescimento e na deficiência de S há formação de proteína de baixa qualidade.

Nas hortaliças, é o S que proporciona o aroma e sabor de alimentos como o alho, cebola e mostarda, em função do bissulfeto de alila (CS_2), é responsável pelas enzimas proteolíticas que proporcionam o sabor das frutas, sua carência deixa os alimentos com sabor aguado (VITTI et al., 2015). Na cultura do milho este elemento colabora na parte de crescimento das folhas e na qualidade dos grãos produzidos (MENDES et al., 2014).

A deficiência de S é fator limitante da produção agrícola em extensas áreas do Brasil, em especial nas áreas de cerrado. Para Vitti e Heinrichs (2007), a dose necessária para a maioria das culturas variam de 15 a 50 kg ha⁻¹. As culturas mais exigentes como crucíferas e liliáceas demandam doses médias de 70 a 80 kg ha⁻¹ de S. A extração de enxofre pela planta de milho é pequena e varia de 15 a 30 kg ha⁻¹, para uma produção em torno de 5 a 7t ha⁻¹. Os solos com teores de enxofre inferiores a 10 ppm, a cultura do milho pode apresentar resposta ao nutriente (FIORINI, 2016).

O estoque de S presente no solo está sempre se renovando, sendo parte do S-inorgânico transformado em S-orgânico (por imobilização), e diferentes formas de S-orgânico se inter-

convertendo e simultaneamente parte do S imobilizada convertido em formas inorgânicas disponíveis às plantas (por mineralização). A mineralização do S é baixa em temperatura inferior a 10°C, satisfatória entre 20°C e 40°C e reduzida acima de 40°C. Uma ótima umidade é em torno de 60% da capacidade de campo e o pH variando 6-7, outro fator que afeta positivamente a mineralização é a presença de microrganismos rizosféricos no solo (LUCHETA, 2010).

As fontes mais utilizadas para suprir o S às plantas são o superfosfato simples, que contém (12% de S-sulfato), e o sulfato de amônio, com (24% de S-sulfato) (HOROWITZ e MEURER, 2006). Ambos são utilizados isoladamente ou como componentes de fertilizantes comerciais. Os fertilizantes sulfatados podem ser simples ou compostos, com doses variáveis de S. As fontes mais comuns de fertilizantes sulfatados simples são: sulfato de amônio, superfosfato simples, gesso (natural ou agrícola), sulfato de potássio, e outras combinações nitrogenadas (ureia, nitrato de amônio). Já nos compostos NPK o teor de S varia geralmente entre 1% e 10% nestes fertilizantes, quanto menor for a concentração de N, P e K, maior a possibilidade de aumento do teor de S na fórmula (STIPP e CASARIN, 2010).

Segundo Stipp e Casarin (2010), as fórmulas mais concentradas em NPK costumam conter como fonte de P o fosfato monoâmônico (MAP), o fosfato diamônio (DAP) e o superfosfato triplo (TSP), que têm baixas concentrações de S, porém, a utilização de fórmulas com baixa concentração de NPK (maior de S) não é viável, pois acarretaria um aumento com transporte, armazenamento e aplicação ao produtor. A utilização de S⁰, que contém mais de 90% de S, incorporado a fertilizantes comerciais é uma alternativa que pode aumentar a concentração dos nutrientes nas formulações e reduzir os custos de produção, de transporte e de aplicação dos fertilizantes (FIORINI, 2011). A utilização de enxofre elementar revestido em diferentes fontes de fertilizantes, com a finalidade de fornecimento de S, apresenta benefícios na qualidade física do fertilizante, proporciona ao produto, menor higroscopicidade, permitindo assim agilidade operacional. O produto pode ser armazenado por um longo período sem perder qualidade física e química. Na ureia em especial, além dos benefícios físicos, o revestimento com S atua como uma barreira, que diminui as perdas por volatilização.

A oxidação do enxofre elementar pode demandar um tempo maior que o desenvolvimento inicial das culturas e ser influenciada por vários fatores, inclusive pelas doses e pela associação com outros nutrientes, mas isso ainda é pouco estudado.

A oxidação é um processo biológico que depende de vários fatores, como temperatura, umidade e aeração, textura do solo e matéria orgânica, pH e a superfície específica da fonte. Embora a temperatura ótima para oxidação ainda não esteja definida, estudos publicados por diversos autores demonstram que as maiores taxas ocorrem entre 30°C e 40°C. Em relação a umidade a taxa máxima ocorre ao redor da capacidade de campo. Quanto maior o teor de argila

e matéria orgânica do solo, maior a tendência de oxidação, sendo o efeito positivo dependente do teor de matéria orgânica.

Em solos tropicais, a taxa de oxidação do S° aumenta a medida que aumenta o pH do solo (HOROWITZ, 2003), em que nos solos ácidos, a velocidade de oxidação é maior nos solos com pH próximo a 6,0, comparada aos menores valores de pH.

O tamanho da partícula do S° ocorre aumento acentuado na taxa de oxidação devido ao aumento da área de superfície específica de contato da partícula com o solo, o que favorece os microrganismos oxidantes, considerando para uma rápida oxidação as partículas do fertilizantes precisam ser inferior a 0,15 mm (HOROWITZ e MEURER, 2006).

2.2 OBJETIVOS

O objetivo do trabalho foi avaliar a oxidação do enxofre elementar em pastilhas ou incorporado aos fertilizantes fosfatados e nitrogenados até 60 dias da aplicação no solo.

2.3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de novembro de 2016 a março de 2017, em vasos de 8 dm³ sob ambiente protegido na Universidade Estadual de Goiás, Campus Ipameri. A casa de vegetação utilizada apresenta as seguintes características: medidas de pé direito três metros e cinquenta centímetros, trinta metros de comprimento, sete de largura, proteção lateral com tela sombrite 50% na cor preta e cobertura com plástico transparente 150 micras. Utilizou solo coletado na camada de 0-20 cm de um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico (SANTOS et al., 2013).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizados (DIC), arranjado em esquema fatorial 4x5, com quatro repetições. O primeiro fator foi composto pelas fontes revestidas por enxofre elementar: 1 - ureia, 2 - superfosfato triplo (TSP), 3 - fosfato monoamônico (MAP), e 4 - enxofre elementar em forma de pastilhas. O segundo fator foram as doses de S (0, 32, 64, 96 e 128 mg dm⁻³ de solo).

O solo foi coletado na camada de 0-20 cm e passado na peneira com malha de 2,0 mm. Uma amostra foi submetida às análises químicas e físicas, conforme metodologias descritas em Silva (2009). Os resultados obtidos na análise de solo foram: argila 300 g kg⁻¹, silte 90 g kg⁻¹, areia 610 g kg⁻¹, pH (CaCl₂) 6,3; Saturação de Bases 54,61%; CTC 2,87 cmol_c dm⁻³; S 2,0 mg dm⁻³; P (Mehlich 1) 0,8 mg dm⁻³; M.O 7,0 g dm⁻³; K 19,1 mg dm⁻³, Ca 1,0 cmol_c dm⁻³; Mg 0,5 cmol_c dm⁻³; H+Al 1,3 cmol_c dm⁻³; B 0,19 mg dm⁻³; Cu 2,5 mg dm⁻³; Fe 27,6 mg dm⁻³; Mn 3,4 mg dm⁻³; Zn 0,2 mg dm⁻³. Foi aplicado calcário dolomítico visando elevar a saturação por bases para 60%, o solo foi incubado pelo período de 60 dias.

Após a adição de S-elementar, as amostras de solo foram incubadas por períodos de 0, 15, 30, 45 e 60 dias, com 60% da sua capacidade máxima de retenção de água. A cada sete dias, a umidade foi determinada por redução de peso dos vasos e restabelecida a quantidade inicial de água. As amostras foram retiradas para cada período de incubação, secas em estufa, com circulação forçada de ar, ajustada para 60°C. Após a secagem determinou o pH em água e o teor de S sulfato, conforme os métodos descritos por Silva (2009).

Os dados foram submetidos a análises de variância, ao teste de Scott Knott à 5% de probabilidade, para comparação de fontes, e o efeito de doses por análise de regressão, no sistema computacional de análise estatística SISVAR.

2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre as fontes utilizadas, a que apresentou os menores valores de S-SO₄ foi o S-elementar, seguido do superfosfato triplo (TSP), do fosfato monoamônico (MAP) e a ureia foi a fonte em que se verificou os maiores teores de solubilidade tanto em decorrência de 0, 15 e 45 dias (Tabela 1).

Tabela 1. Valores de solubilidade das fontes de fertilizantes contendo enxofre, ureia, superfosfato triplo (TSP), fosfato monoamônico (MAP) e S elementar (S^o), de acordo com o tempo e doses no solo. UEG - Câmpus Ipameri, GO. 2018

FONTE	Dias de incubação				
	0	15	30	45	60
	DOSE				
	0 mg dm⁻³ S				
Ureia	8,20	7,59	7,71	8,08	8,69
TSP	8,20	7,59	7,71	8,08	8,69
MAP	8,20	7,59	7,71	8,08	8,69
S ^o	8,20	7,59	7,71	8,08	8,69
	32 mg dm⁻³ S				
Ureia	5,46 b	15,28 a	8,65	16,09 a	13,34
TSP	7,98 a	6,81 b	9,55	8,41 b	10,72
MAP	5,27 b	12,94 a	10,38	15,56 a	15,04
S ^o	0,89 c	9,45 b	10,72	17,68 a	18,14
	64 mg dm⁻³ S				
Ureia	2,65 b	15,28 a	8,78	15,40 a	15,52
TSP	6,13 a	9,03 b	8,94	7,49 b	10,48
MAP	5,34 a	8,63 b	8,20	16,11 a	15,77
S ^o	1,02 b	9,55 b	10,75	10,88 b	14,02
	96 mg dm⁻³ S				
Ureia	7,00 a	23,25 a	7,77	15,47 b	15,50
TSP	6,66 a	5,27 c	9,09	7,52 c	16,32
MAP	7,15 a	11,40 b	9,15	21,01 a	21,04
S ^o	1,08 b	9,89 b	9,55	10,26 c	15,37
	128 mg dm⁻³ S				
Ureia	7,17 a	12,92 a	11,12	11,12 a	9,12
TSP	6,78 a	7,09 b	7,43	7,43 b	12,23
MAP	5,63 a	11,71 a	11,40	11,40 a	21,16
S ^o	3,43 b	8,90 b	9,43	9,43 b	9,25
C.V	24,09	21,73	18,45	10,26	30,89

C.V.: coeficiente de variação; médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5 % de probabilidade.

Observou-se que o S^o fornecido ao solo por meio dos fertilizantes revestidos demonstrou a maior taxa de oxidação, uma vez que a superfície específica das fontes revestidas, permitem

maior contato no solo, proporcionando aumento na disponibilidade, em menor tempo, comparado ao enxofre elementar na forma de pastilha.

A aplicação de enxofre no tempo 0 de incubação na dose 32 mg dm⁻³ o TSP apresentou maior teor de S-SO₄ em relação a ureia e MAP, sendo o S^o a menor valor com 0,89 mg dm⁻³. Na dose 64 mg dm⁻³ o TSP e o MAP foram superiores a ureia e o enxofre elementar, sendo o S^o a menor dose, com 1,02 mg dm⁻³.

De acordo com Horowitz e Meurer (2006), o uso intensivo dos solos visando a altas produtividades e com o uso constante de adubos concentrados em NPK (teor de S < 1%), além de outros fatores e a pouca importância relacionada ao enxofre (S), esse elemento passou a ser limitante ao desenvolvimento das plantas.

A incubação no tempo 0 na aplicação da dose 96 mg dm⁻³, MAP, ureia e TSP consequentemente apresentaram maior teor de S-SO₄ em relação ao S^o o menor valor com 1,08 mg dm⁻³ estatisticamente inferior as outras três fontes.

A sua deficiência nas regiões do Cerrado tornou-se fator limitante da produção agrícola devido à baixa fertilidade do solo associada a pouca matéria orgânica, inferior a 2% (FIORINI, 2016). Aliado a esses fatores, a exportação dos nutrientes pelos grãos e o uso de fertilizantes concentrados em NPK, que contêm baixo teor de enxofre em sua composição, contribuem para o pronunciamento dessa deficiência encontrada no solo analisado da área experimental, tendo apresentado um teor S inicial de 8,2 mg dm⁻³, considerado médio.

A aplicação de enxofre no tempo 0 de incubação na dose 128 mg dm⁻³ a ureia apresentou maior teor de S-SO₄, não diferindo significativamente do TSP e MAP, sendo o S^o a menor valor com 3,43 mg dm⁻³. O S-elementar, imediatamente após a adição ao solo, apresentou os menores valores de S-SO₄, independente da dose (Tabela 1).

Aos 15 dias de incubação a ureia revestida com enxofre elementar apresentou maior disponibilidade nas doses 32, 64, 96 e 128 mg dm⁻³. A ureia é um fertilizante que apresenta uma tendência a acidificar o meio e como pH do solo é o principal fator que está relacionado com a taxa de oxidação do S-elementar, esse fator influencia no tempo de oxidação desse fertilizante em comparação aos fosfatados MAP e TSP (LAWRENCE e GERMIDA, 1988).

Nas doses 32, 96 e 128 mg dm⁻³ no período de incubação de 15 dias, a ureia teve maior solubilidade, seguida pelo MAP, S^o e TSP, respectivamente. Diferenciado na dose de 64 mg dm⁻³, nesta ocasião o adubo fosfatado TSP apresentou maior disponibilidade em relação ao MAP, sendo uma fonte mais eficiente.

No período de incubação de 45 dias, o fosfatado MAP apresentou melhor desempenho nas doses de 64, 96 e 128 mg dm⁻³, seguido da ureia, S^o e TSP, diferenciado na dose de 32 mg dm⁻³, em que o S^o apresentou maior teor, consequentemente a ureia, MAP e TSP.

A indústria de fertilizantes vem testando produtos objetivando aumentar a eficiência dos nutrientes, buscando alternativas de diferentes naturezas. Dentre as alternativas disponíveis no mercado, Cantarella (2007) cita alguns exemplos de recobrimentos utilizados em fertilizantes como o uso do enxofre elementar e o processo de encapsulamento com polímeros.

Com S^o na forma de pastilha foi verificado que, a dose que menos acumulou S no solo foi a dose de 77,30 mg dm⁻³, sendo encontrado um acúmulo de apenas 0,233 mg dm⁻³ de S-SO₄. A partir dessa dose voltou a aumentar o teor no solo até 3,43 mg dm⁻³ na dose de enxofre de 128 mg dm⁻³ (Figura 1).

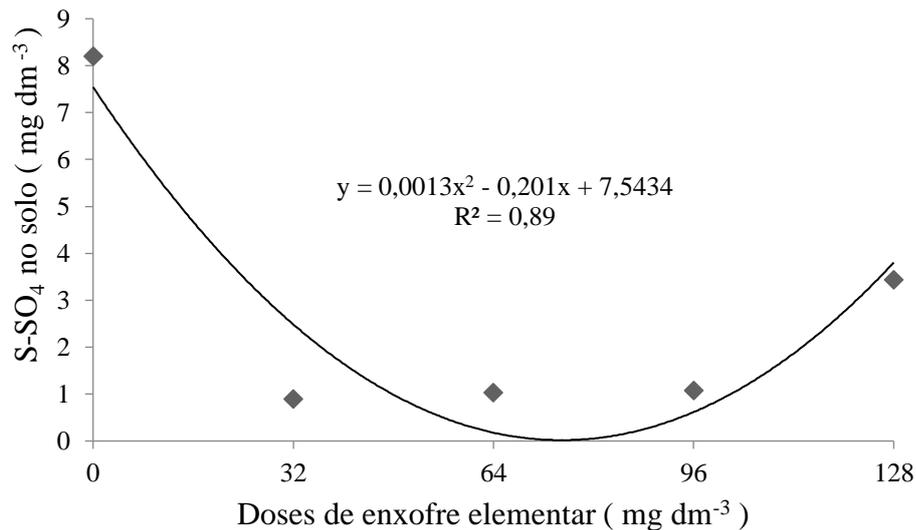


Figura 1. Teor de S-SO₄ no solo em função de doses de enxofre elementar em pastilha aos 0 dia de incubação.

Horowitz e Meurer (2006) aplicaram doses crescentes de S-elementar até 12 g kg⁻¹, em amostras de Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, e verificaram incrementos expressivos no teor de S-SO₄⁻², no período de 22 a 54 dias de incubação. Aos 70 dias de incubação esses autores observaram uma redução no pH do solo quando se aplicou doses superiores a 3 g kg⁻¹ de S-elementar.

Assim períodos maiores de incubação de S-elementar podem apresentar maiores teores de S-SO₄ no solo e redução de pH, sendo essa redução diferente dependendo do tipo de solo, mas que podem influenciar na disponibilidade de algumas fontes de fertilizantes que possuem melhor aproveitamento em meio ácido.

A fonte superfosfato triplo (TSP) apresentou concentração de S no solo decréscimo linear à medida que se aumentou a dose de S (Figura 2). No início apresentou 8,20 mg dm⁻³, o valor diminuiu para 7,02 mg dm⁻³ quando submetidas ao tratamento de 0 mg dm⁻³ e 128 mg dm⁻³.

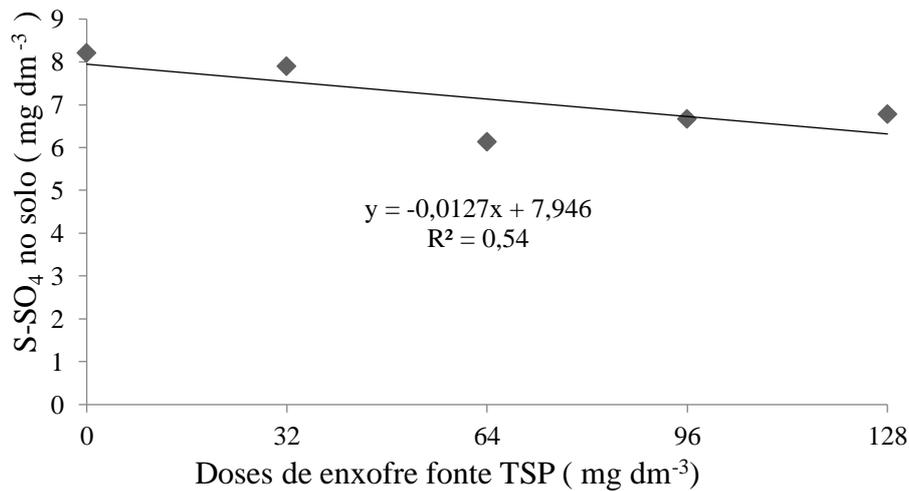


Figura 2. Teor de S-SO₄ no solo em função de doses de S^o com TSP aos 0 dia de incubação.

Frاندoloso et al. (2010) avaliaram a influência do S^o na solubilidade de um fosfato natural reativo (FNR) e compararam a eficiência com o TSP na cultura do milho. O experimento foi instalado com quatro doses de cada fertilizante fosfatado (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e duas doses de S (0 e 30 kg ha⁻¹ de S^o em pó). Os índices de eficiência agrônômica do FNR usando como referência o TSP apresentaram média de 43% e 33% com a adição e sem adição de S^o, respectivamente. A oxidação do S^o influenciou positivamente a disponibilidade de P do FNR para as plantas. Cabe ressaltar a baixa relação de S^o (30 kg ha⁻¹): FNR (100, 200 e 300 kg ha⁻¹) utilizada no experimento, que talvez tenha limitado os resultados de eficiência do FNR, por acidez gerada da oxidação do S^o ter sido suficiente apenas para solubilizar parte do P do FNR.

Considerando 0 dias de incubação as maiores doses apresentaram menor oxidação de S-SO₄ provavelmente devido ao tempo de oxidação. A utilização do S-elementar revestido as fontes de fósforo apresentam importante utilização devido a interação dos nutrientes, proporciona maior benefícios as culturas por estarem relacionados a vários processos metabólicos na planta tais como a síntese de proteínas e óleos.

A oxidação do S na fonte ureia aos 15 dias constatou-se que a dose 65,27 mg dm⁻³, foi a que acumulou menor quantidade de enxofre 4,22 mg dm⁻³ de S-SO₄ voltando a acumular a dose 7,17 mg dm⁻³ de S-SO₄ na dose de 128 mg dm⁻³ (Figura 3). Considerando que a oxidação do S é dependente da atividade de microrganismos, as doses mais elevadas, e a alteração de pH poderiam estar afetando a atividade microbiana. Como a ureia possui uma tendência a acidificar o meio, esse fator pode ter contribuído para a disponibilidade de S-SO₄.

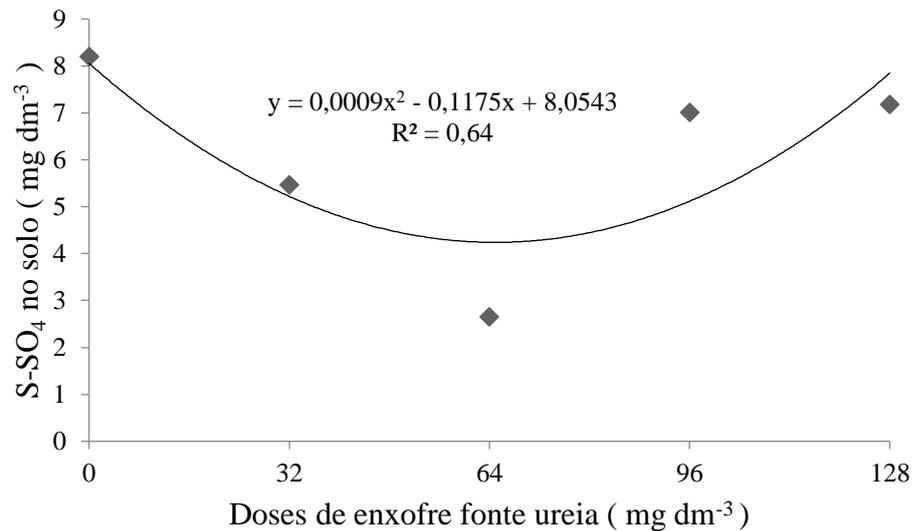


Figura 3. Teor de S-SO₄ no solo em função de doses de S^o com ureia aos 15 dia de incubação.

A adição conjunta do nitrogênio e enxofre resulta na maioria das vezes em uma interação positiva, seja na produção pela relação N/S, ou melhorias na qualidade física do produto, o que proporciona melhor aplicabilidade e armazenagem. A importância do equilíbrio entre os teores de nitrogênio e enxofre, no solo e na planta, reflete no estado nutricional e desenvolvimento da planta.

Aos 45 dias de aplicação dos fertilizantes, a melhor dose do fosfato monoamônico (MAP) foi a de 95,4 mg dm⁻³ de S^o, que apresentou um acúmulo de 19,23 mg dm⁻³ de S-SO₄ (Figura 4).

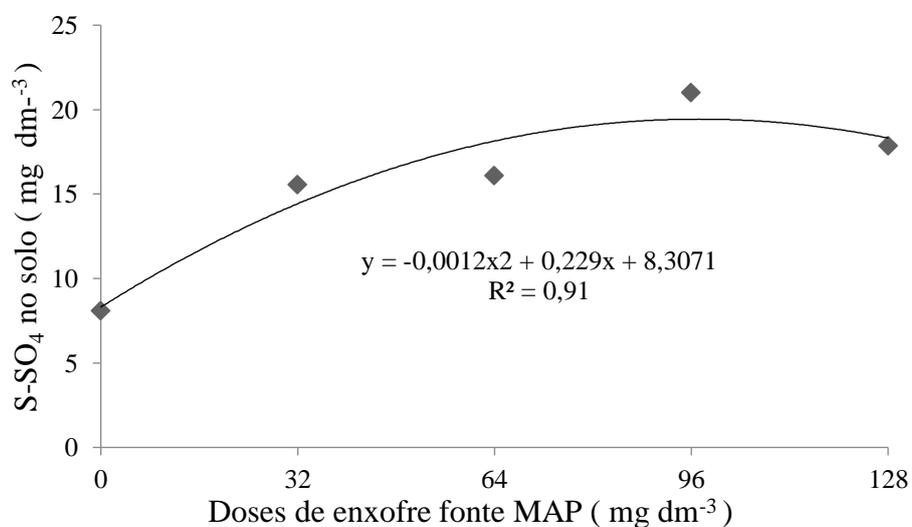


Figura 4. Teor de S-SO₄ no solo em função de doses de S^o com MAP aos 45 dia de incubação.

Estudo conduzido por Fiorini (2011), verificou que em experimento em casa-de-vegetação com quatro cultivos consecutivos de milho, 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 apresentam potencial de utilização em áreas com níveis adequados do nutriente, porém que necessitam de reposição de enxofre.

A aplicação de ureia revestida com enxofre elementar aos 45 dias, a melhor dose de ureia foi a de $66,94 \text{ mg dm}^{-3}$ de S° , que apresentou um acúmulo de $16,71 \text{ mg dm}^{-3}$ de S-SO_4 (Figura 5).

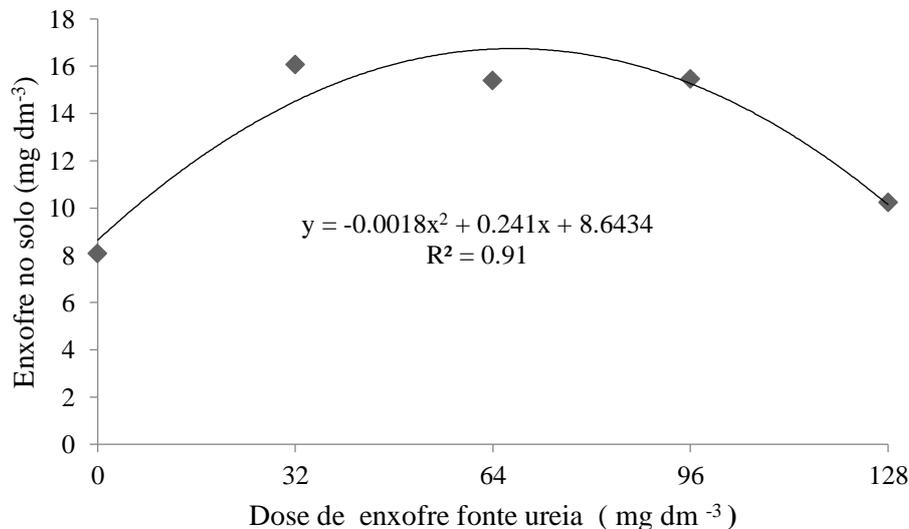


Figura 5. Teor de S-SO_4 no solo em função de doses de S° com ureia aos 45 dia de incubação.

O efeito do pH está relacionado à atividade dos microrganismos que transformam S-S° em S-SO_4 , como a capacidade de oxidação das diferentes espécies está relacionada com o pH do meio isso acaba interferindo na harmonia simbiótica da população microbiota, o que dificulta a transformação do enxofre por esses microrganismos presentes no solo, retardando esse processo quando utilizado como fonte a fertilizante ureia (HOROWITZ e MEURER, 2006).

CONCLUSÕES

1- A adição de S-elementar com as diferentes fontes, logo após a aplicação, reduziu a disponibilidade de S-SO₄ no solo, e o aumento das doses até 128 mg dm⁻³ de S^o não foi suficiente para compensar essa redução.

2- Aos 45 dias de incubação, a disponibilidade de S-SO₄ no solo aumentou até a dose de 66,94 mg dm⁻³ de S com ureia, e de 95,4 mg dm⁻³ de S^o aos 45 dias com MAP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V.; V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (eds). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 375-470, 2007.
- CÉSAR, F. R. C. F. Efeito do enxofre elementar na eficiência de fosfatos naturais. 2012. 90f. **Dissertação (Mestrado)** – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP. 2012.
- FRANDOLOSO, FRANDOLOSO, J. F; LANA, M. C; FONTANIVA, S; CZYCZA, R. V. **Eficiência de adubos fosfatados associados a enxofre elementar na cultura do milho**. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 57, n. 5, p. 686-694, set./out. 2010.
- FIORINI, I.V.A. Resposta da cultura do milho a diferentes fontes de enxofre e formas de aplicação de micronutrientes. 2011. 70f. **Dissertação (Mestrado)** – Universidade Federal de Lavras, MG. 2011.
- FIORINI, I.V.A; PINHO, R.G.V; PIRES, L.P.M; SANTOS; A.O; FIORINI, F.V.A; CANCELIER, L.L; RESENDE, E.L. Avaliação de fontes de enxofre e das formas de micronutrientes revestindo o NPK na cultura do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Lavras, v.15, n.1, p. 20-29, 2016.
- HOROWITZ, N. Oxidação e eficiência agrônômica do enxofre elementar em solos do Brasil. 2003. 109 p. **Tese (Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo)** - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- HOROWITZ, N.; MEURER, E.J. Oxidação do enxofre elementar em solos tropicais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, p. 822-828, 2006.
- LAWRENCE, J.R; GERMIDA, J.J. Relationship between microbial biomass and elemental sulfur oxidation in agricultural soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 52, p.672 - 677, 1988
- LUCHETA, A.R. Oxidação microbiológica do enxofre elementar no solo. 2010. 178f. **Tese (Doutorado Agronomia) - Escola Superior de Agricultura**, Universidade de São Paulo, SP. 2010.
- MENDES, M. C; WALTER, A.L.B; POSSATO, O; RIZZADI, D.A; SCHLOSSER, J; SZEUCZUCK. Doses de nitrogênio associado a enxofre em cobertura na cultura do milho em plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.13, n.1, p. 96-106, 2014.
- OSÓRIO FILHO, B.D. Dinâmica de enxofre no sistema solo e resposta das culturas à adubação sulfatada. 2006. 76f. **Tese – Centro de Ciências Rurais**, Universidade Federal de Santa Maria, RS. 2006.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A. V. LUMBRERAS, J. F. COELHO, M.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. rev. ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2013, p 353.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Distrito Federal: Brasília, 2009, p. 657.

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

VITTI, G.C; HEIRINCHS, R. Formas tradicionais e alternativas de obtenção e reutilização do nitrogênio e do enxofre: uma visão holística. In: Yamada, T; ABDALLA, R.S; VITTI, G. C. (Eds.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI, 2007. p. 109-160.

VITTI, G.C; OTTO, R; SAVIETO, J. Manejo do enxofre na agricultura. **Informações Agronômicas**, n.152, p. 02 – 12, dez. 2015.

**3 CAPÍTULO 2: EFICIÊNCIA DE ABSORÇÃO DE ENXOFRE APLICADO NA
FORMA ELEMENTAR EM DIFERENTES FONTES E DOSES NO MILHO.**

RESUMO

Milho (*Zea mays* L.) é uma importante cultura em todo o mundo, cultivada amplamente em todo território nacional, com utilização na alimentação humana e animal, com produção estimada em 97,2 milhões de toneladas para safra 16/17. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência na absorção de S pelo milho em função da aplicação de enxofre elementar em diferentes doses e fontes. O experimento foi conduzido no período de maio e julho de 2017, na área experimental da UEG, em Ipameri-GO. Utilizou-se o híbrido BG7439H. O delineamento experimental foi inteiramente casualizados (DIC), arranjado em esquema fatorial 4x5, com quatro repetições. O primeiro fator foi composto pelas fontes revestidas por enxofre elementar: 1- ureia, 2 - superfosfato triplo (TSP), 3 - fosfato monoamônico (MAP), e 4 - enxofre elementar em forma de pastilhas. O segundo fator foram as doses de S (0, 32, 64, 96 e 128 mg dm⁻³ de solo). Foram avaliados os teores foliares, acúmulo de nutrientes no colmo e na raiz do milho. Independentemente da fonte de fertilizante fornecida não foram constatadas diferenças significativas para o aproveitamento desse nutriente pela planta e formas de fornecimento do nutriente 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 do nutriente. O enxofre elementar, fosfato monoamônico, o superfosfato triplo e a ureia revestidos por enxofre elementar não proporcionaram diferenças significativas nos teores foliares de nutrientes nem na concentração desse nutriente no colmo ou na raiz. Não foi constatada variância significativa de resposta à aplicação das diferentes doses (0, 32, 64, 96, 128 mg dm⁻³) em relação ao aproveitamento nutricional pela planta. As diferentes fontes revestidas com enxofre elementar e enxofre pastilhado não apresentou resposta positiva na cultura do milho.

Palavras-Chave: *Zea mays*; Fertilizantes; Enxofre elementar.

ABSTRACT

Maize (*Zea mays* L.) is an important crop throughout the world, cultivated widely throughout the country, with use in human and animal food, with an estimated production of 97.2 million tons for the 16/17 crop. The objective of this work was to evaluate the efficiency of the absorption of S by maize as a function of the application of elemental sulfur in different doses and sources. The experiment was conducted in May and July of 2017, in the experimental area of the UEG, in Ipameri-GO. We used the hybrid BG7439H. The experimental design was completely randomized (DIC), arranged in 4x5 factorial diagram with four replications. The first factor was composed by elemental sulfur coated sources: 1- urea, 2 - triple superphosphate (TSP), 3 - monoammonium phosphate (MAP), and 4 - elemental sulfur in the form of pellets. The second factor S were doses (0, 32, 64, 96 and 128 mg dm⁻³ of soil). The leaf contents, nutrient accumulation in corn stalk and root were evaluated. Regardless of fertilizer source provided no significant differences were observed for the use of this nutrient by plant and forms of supplying nutrient agronomic characteristics and foliar nutrients. The different sulfur sources affected the characteristics and similarly independent of form supply nutrient. Elemental sulfur, monoammonium phosphate, triple superphosphate and urea coated with elemental sulfur did not provide significant differences in the nutrient foliar content nor in the concentration of this nutrient in the stem or root. Wasn't significant variation observed in response to application of different doses (0, 32, 64, 96, 128 mg dm⁻³) relative to energy utilization by the plant. The different sources coated with elemental sulfur and pasted sulfur did not present a positive response in maize culture

Keywords: *Zea mays*; Fertilizer; Elemental sulfur.

3.1 INTRODUÇÃO

A cultura do milho é destinada tanto à produção de silagem quanto à produção de grãos, tornando-se atualmente uma cultura de enorme potencialidade produtiva brasileira, contribui para a economia nacional. O milho não possui apenas utilização alimentícia, ao contrário, os usos dos seus derivados estendem-se às indústrias química, farmacêutica, de papéis, têxtil (PAES, 2006). É cultivado praticamente em todo o território nacional, com produção estimada em 97,2 milhões de toneladas para a safra 16/17, a área plantada para o milho de ciclo de verão apresentou um incremento nacional de 3,6 % em relação ao período anterior (CONAB, 2017).

A introdução de novas variedades melhor adaptadas às nossas condições climáticas, bem como práticas culturais mais adequadas (adubações, alterações no espaçamento e na densidade de semeadura de acordo com as características das cultivares e melhoria na qualidade dos solos e na fertilização etc.) tem proporcionado um aumento significativo da produtividade desta cultura em nosso país. Os indicadores de produção estão entre os melhores a nível mundial: Brasil (9,2 %), a China (20,8%), e os Estados Unidos (34,6%) segundo dados da CONAB (2017).

A necessidade nutricional das plantas é também um fator que deve ser considerado, quando o objetivo é aumentar a produção de grãos. O milho responde progressivamente à adubação, desde que os demais fatores sejam levados em consideração, sendo que o nitrogênio é o nutriente que apresenta maior resposta de aumento de produtividade de grãos (SANGOI et al., 2004).

Normalmente, os agricultores que obtêm alta produtividade de milho, aplicam altas doses de fertilizantes a base de nitrogênio, fósforo e potássio (NPK), geralmente acima dos níveis recomendados em suas regiões (COELHO et al., 2004). Porém, fórmulas ricas em NPK apresentam baixos teores de S, um nutriente rico em benefícios e indispensável à qualidade da produção, tendo-se como alternativa a incorporação do S^o revestindo diferentes fontes de matérias-primas.

Nas últimas décadas estudos sobre a importância dos macros e micronutrientes às plantas e suas incorporações ao solo por meio de adubações estão sendo realizados, como o nitrogênio e o enxofre, pois estes nutrientes são responsáveis pelo crescimento da planta, qualidade das espigas e aumento no peso de grãos, tornando maior a produtividade (MENDES et al., 2014). Junto com o nitrogênio (N), o enxofre (S) está presente em todas as funções vitais, incluindo o crescimento hormonal que está relacionado ao crescimento e à produção da planta. O S participa ainda da proteção contra as pragas e doenças (LUCHETA, 2010).

Malavolta (1996) observou um aumento médio de 21% na produção do milho no Brasil como resposta ao uso do enxofre. Czycza et al. (2008) avaliaram a resposta na produção de grãos da cultura, em função de seis diferentes fórmulas de fertilizantes contendo enxofre. A aplicação dos fertilizantes com S, além de terem proporcionado um aumento na produtividade, aumentaram o teor do elemento no solo em relação à testemunha fosfato diamônico (DAP), sendo que esta diferença representou um ganho de 23% a 27%.

Miranda e Miranda (2008) trabalharam com as doses 0, 15, 30 e 45 kg de S ha⁻¹ utilizando gesso e um tratamento incremental de 15 kg ha⁻¹ de enxofre elementar em dois sistemas de cultivo, plantio convencional e plantio direto, em dois anos agrícolas. Os autores constataram que todos os tratamentos foram superiores em produtividade de grão em relação à testemunha sem enxofre.

Em relação à eficiência do S^o incorporado a fontes de adubos fosfatados na cultura do milho, Frandoloso et al. (2010) observaram que o superfosfato triplo (TSP) proporcionou maiores teores de P no tecido foliar e maior rendimento de grãos em comparação com o fosfato natural reativo (FNR). A adição de enxofre elementar proporcionou maior índice de eficiência agrônômica do FNR (43 %), sendo que na ausência de enxofre o esse índice foi de 33%.

Fiorini (2011) verificou que as diferentes fontes de enxofre afetaram as características de forma semelhante: tanto via granulado quanto via revestindo o grânulo de adubo, o S^o proporcionou diferenças significativas nos teores foliares de macro e micronutrientes e também na produtividade de grãos, altura de plantas e espiga. De acordo com Mendes et al. (2014), ficou constatado que o enxofre foi o elemento limitante ou que poderia proporcionar um aumento significativo na produtividade de grãos nos híbridos de milho avaliados. O aumento na produtividade de grãos de milho quando associado o uso do fertilizante em cobertura ureia com enxofre (148 kg ha⁻¹ de N e 64 kg ha⁻¹ S) frente aos demais tratamentos avaliados em cobertura, independente do híbrido utilizado.

3.2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência na absorção de S pelo milho em função da aplicação de enxofre elementar em diferentes doses e fontes.

3.3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de maio a julho de 2017, em vasos de 8 dm³ em casa de vegetação na Universidade Estadual de Goiás, Campus Ipameri. Utilizou solo coletado na camada de 0-20 cm de um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico (SANTOS et al., 2013). A casa de vegetação utilizada apresentava as seguintes características: medidas de pé direito três metros e cinquenta centímetros, trinta metros de comprimento, sete de largura, proteção lateral com tela sombrite 50% na cor preta e cobertura com plástico transparente 150 micras.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizados (DIC), arranjado em esquema fatorial 4x5, com quatro repetições. O primeiro fator foi composto pelas fontes revestidas por enxofre elementar: 1- ureia, 2 - superfosfato triplo (TSP), 3 - fosfato monoamônico (MAP), e 4 - enxofre elementar em forma de pastilhas. O segundo fator foram as doses de S (0, 32, 64, 96 e 128 mg dm⁻³ de solo).

Após a coleta do solo, uma amostra foi posta para secar a sombra e, posteriormente, peneiradas em peneira com malha de 2,0 mm. Foi submetida às análises químicas e físicas, conforme metodologias descritas em Silva (2009). Os resultados obtidos na análise de solo foram: pH (CaCl₂) 6,3; Saturação de Bases 54,61%, CTC 2,87 cmol_c dm⁻³, S 2,0 mg dm⁻³, P (Mehlich1) 0,8 mg dm⁻³; M.O 7,0 g dm⁻³, K 19,1 mg dm⁻³; Ca 1,0 cmol_c dm⁻³; Mg 0,5 cmol_c dm⁻³; H+Al 1,3 cmol_c dm⁻³; B 0,19 mg dm⁻³; Cu 2,5 mg dm⁻³; Fe 27,6 mg dm⁻³; Mn 3,4 mg dm⁻³; Zn 0,2 mg dm⁻³. Foi aplicado calcário dolomítico visando elevar a saturação por bases para 60%.

A calagem foi feita em todo o volume de solo, individualmente em cada unidade experimental, sendo o período de incubação de 60 dias, com umidade mantida à capacidade de campo.

A adubação base em cada vaso constou de 296 mg dm⁻³ de N, 343 mg dm⁻³ de P e 150 mg dm⁻³ de K, utilizando como fonte ureia (45% de N), superfosfato triplo (46% de P₂O₅) e KCl (60% de K₂O) respectivamente para a testemunha. Nos demais tratamentos, essas mesmas fontes foram usadas em complementação aos fertilizantes revestidos com S-elementar no balanceamento de NPK.

A semeadura foi realizada na segunda quinzena de maio de 2017 em vasos de polietileno com capacidade para 8 dm³ de solo, utilizando a variedade BG7439H, distribuindo-se cinco sementes por vaso. No décimo dia após a semeadura foi feito o desbaste deixando-se duas plantas por vaso.

O tratamento de sementes foi realizado com os seguintes produtos fitossanitários: K-Obiol 25EC (Deltametrina 25 g L⁻¹): 0,08ml kg⁻¹; Actellic 500EC (Pirimifós metílico 500g L⁻¹): 0,016 ml kg⁻¹; Maxim XL (Fludioxonil 25 g L⁻¹. Metalaxil-M 10g L⁻¹): 1,0 ml kg⁻¹; Poncho (Clotianidina 600g L⁻¹): 3,5 ml kg⁻¹.

Os tratamentos culturais foram realizados de maneira preventiva para o controle de doenças e pragas. Utilizou-se inseticida Connect à base de Neonicotinóide (Imidacloprido) e Piretróide (Beta-ciflutrina) na dose de 750 mL ha⁻¹ aplicação a cada 5 dias para o controle de cigarrinha do milho (*Dalbulus maidis*). As pulverizações foram realizadas com pulverizador de pressão manual com volume de calda equivalente a 200 litros por hectare.

Após 45 dias da semeadura foram coletadas as plantas, separando-se raiz, colmo e folhas. O material vegetal foi seco em estufa à 60°C com ventilação forçada por 72 h, e moídas posteriormente. Foi realizada a digestão seca e a determinação de enxofre estabelecida por espectrofotometria com azometina-H, segundo metodologia descrita em Silva (2009).

Os dados foram submetidos a análises de variância, ao teste de Scott Knott à 5% de probabilidade, para comparação de médias e análise de regressão para efeito de doses, no sistema computacional de análise estatística SISVAR.

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.4.1 Efeito das fontes nos teores de S na planta

Não foram constatadas diferenças significativas na concentração de S na folha, raiz e colmo em função das fontes de enxofre (Tabela 1).

Tabela 1. Resultado médio de análise nas variáveis folha, raiz e colmo g kg^{-1} de enxofre na cultura do milho em diferentes fontes.

Enxofre (S) g kg^{-1}			
FONTES	Folha ^{NS}	Raiz ^{NS}	Colmo ^{NS}
MAP + S ^o	3,60	6,00	2,00
S ^o	3,50	5,70	1,90
TSP + S ^o	3,50	5,70	2,05
Uréia + S ^o	3,30	5,80	2,05
C.V	13,30	25,46	22,36

C.V.: coeficiente de variação; NS pelo Scott Knott a 5 % de probabilidade.

A maior concentração de S nas folhas observada foi quando utilizado o fertilizante fosfato monoamônico (MAP), $3,60 \text{ g kg}^{-1}$, o S-elementar $3,50 \text{ g kg}^{-1}$, o superfosfato triplo $3,50 \text{ g kg}^{-1}$ (TSP), enquanto a ureia apresentou o menor valor encontrado de $3,30 \text{ g kg}^{-1}$. Os valores apresentados pelas fontes de S na folha são superiores ao nível adequado, sendo esse variando de 1,00 a $2,00 \text{ g kg}^{-1}$, conforme Alvarez et al., (1999), sendo esses valores acima do recomendado para cultura do milho, as plantas não apresentaram toxidez.

Orioli Júnior (2013), verificou a ausência de diferenças significativas em função do aumento da dose de S, uma vez que a adição de S, geralmente, tem relação positiva com o teor desse nutriente na folha, concluindo que a aplicação de N e S na semeadura não alterou a concentração desses nutrientes na folha e a produção de grãos de milho.

Fiorini (2011) verificou a eficiência de diferentes fontes de S na cultura do milho, constatou que as fontes de S avaliadas proporcionaram diferenças na matéria seca da parte aérea e no acúmulo foliar de enxofre, sendo que S-elementar proporcionou incremento em matéria seca da parte aérea em relação ao enxofre do sulfato de amônio e a testemunha sem enxofre. Constatou ainda que o acúmulo de enxofre foliar fornecido na forma elementar é semelhante ao fornecido como sulfato de amônio. O adubo contendo enxofre na forma elementar pôde

substituir adubos contendo enxofre via sulfato de amônio sem interferir no acúmulo de enxofre foliar na planta de milho, independentemente do estágio fenológico considerado. Resultados esses que divergem dos encontrados nesse trabalho com fosfato monoamônico (MAP), S-elementar, o superfosfato triplo (TSP) e ureia.

Conforme (Tabela 1), os valores de S encontrados na raiz para as diferentes fontes foram maiores quando usado o fosfato monoamônico (MAP), $6,00 \text{ g kg}^{-1}$, seguido da ureia, $5,80 \text{ g kg}^{-1}$, os menores teores foram encontrados quando aplicados o superfosfato triplo (TSP) e o S-elementar, $5,70 \text{ g kg}^{-1}$.

Para os teores de S na raiz não houve diferenças significativas para fontes de enxofre, formas de fornecimento do nutriente revestido e pastilha, e interação fontes de enxofre e formas de fornecimento desse nutriente. Melo et al. (2011) não encontraram acúmulo significativo de enxofre nas raízes das plantas analisadas, em função da aplicação de doses de enxofre, devido ao alto valor inicial de S, ao teor de matéria orgânica no solo, que contribuiram para o suprimento deste elemento, durante o cultivo do milho.

A resposta negativa ao S pode estar relacionada com a interação entre fósforo, enxofre, matéria orgânica e indiretamente a nutrição nitrogenada. A concentração de matéria orgânica no solo pode provocar uma competição direta entre os íons SO_4^{-2} e MoO_4^{-2} pelo sítio de absorção desses íons na raiz.

Os valores encontrados para a concentração de S no colmo da planta de milho variaram entre $2,05 \text{ g kg}^{-1}$ quando aplicado o fertilizante fosfato monoamônico (MAP), $2,00 \text{ g kg}^{-1}$, quando aplicados o superfosfato triplo (TSP) e a ureia, e apresentando o menor teor $1,90 \text{ g kg}^{-1}$, quando aplicado o S-elementar.

Miranda e Miranda (2008) e Frandoloso et al. (2010) encontraram maiores teores de S nas folhas nos tratamentos com enxofre em relação ao tratamento sem enxofre. Czycza et al. (2010) avaliaram o teor de macronutrientes, incluindo o S no tecido foliar e não constatou diferença significativas entre os tratamentos com várias fontes de enxofre, colaborando com os resultados obtidos.

3.4.2 Efeito das doses nos teores de S na planta

A concentração de S nas raízes de milho apresentou decréscimo linear à medida que se aumentou a dose de S. No início apresentou $6,78 \text{ g kg}^{-1}$, esse valor diminuiu para $4,84 \text{ g kg}^{-1}$ quando submetidas ao tratamento de 0 mg dm^{-3} e 128 mg dm^{-3} (Figura 1). Uma vez que o experimento partiu do pressuposto que ao se adicionar S em solos com deficiência desse nutriente há um maior aproveitamento nutricional da planta e por consequência um aumento na

produtividade. Porém o teor encontrado nas folhas, acima do recomendado, pode ser proveniente da translocação da raiz para a parte aérea da planta.

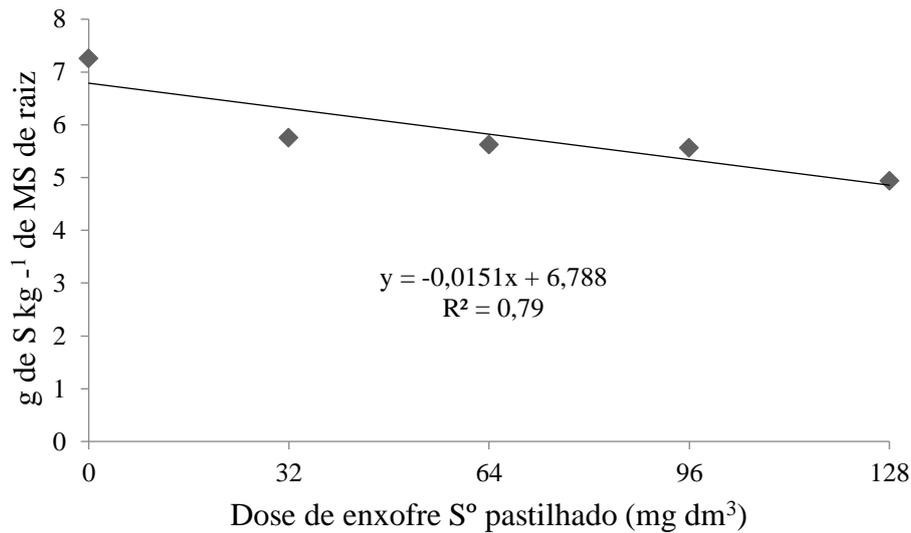


Figura 1. Teor de enxofre na raiz de plantas de milho, em função de doses de enxofre elementar pastilhado.

Aplicando de S⁰ via solo Alvarez (2007) e Osório Filho (2006) não encontraram resposta da cultura do trigo a aplicação de enxofre no solo, mesmo utilizando fonte prontamente disponível como o sulfato (SO₄²⁻).

Um dos fatores que provavelmente pode explicar o baixo aproveitamento do S⁰, seria a retirada precoce das plantas aos 45 dias após a semeadura, não permitindo que o enxofre oxidasse completamente, assim a raiz obteve menor absorção do nutriente.

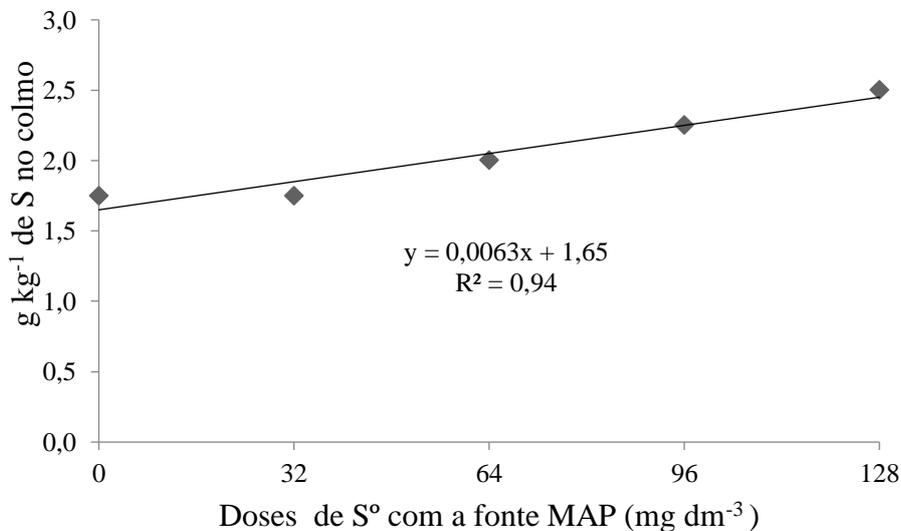


Figura 2. Teor de enxofre no colmo de milho, em função de doses de fosfato monoamônico (MAP).

Quando aplicado o fertilizante fosfato monoamônico (MAP) houve aumento da concentração do S na planta, à medida que se elevou a dose, apresentou aumento no teor da planta, sendo que o maior teor $2,45 \text{ g kg}^{-1}$ quando aplicado a dose de 128 mg dm^{-3} (Figura 2), o que demonstra resposta positiva da cultura quando utilizado o MAP revestido com enxofre elementar.

Segundo Jarvan et al. (2008), diferenças registradas na eficiência da adubação de enxofre em diferentes anos foram causadas primeiramente pelas diferentes condições meteorológicas durante os períodos de crescimento.

Os valores encontrados no colmo (Figura 3) quando submetida ao tratamento como S^o mostraram que as menores doses não surtiram efeito na concentração do S no colmo, não interferindo em sua nutrição, apresentando seu ponto mínimo de 36 mg dm^{-3} , a partir dessa dose voltou a aumentar o teor de S no colmo. A dose de 128 mg dm^{-3} obteve o maior teor de $2,75 \text{ g kg}^{-1}$.

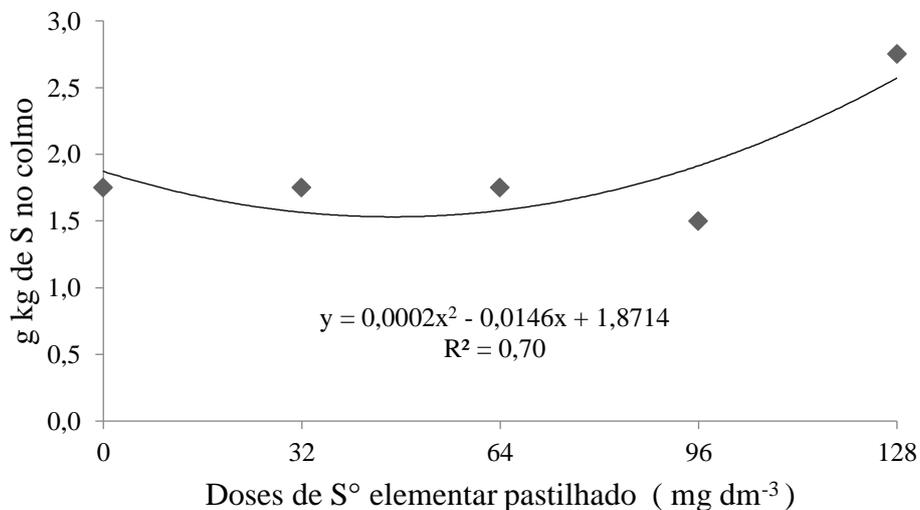


Figura 3. Teor de enxofre no colmo de milho, em função de doses de enxofre elementar.

Segundo Fiorini (2011), os tratamentos onde o S foi adicionado não diferiram onde não houve aplicação de enxofre, mesmo os tratamentos que utilizou a formulação 13-33-00 + 15% S, ou seja, onde se aplicou metade da dose de S na forma de sulfato e metade na forma elementar, não apresentaram diferença.

Castañon (2015) avaliando a eficiência agrônômica dos fertilizantes contendo enxofre na forma de sulfato e elementar, na produção de biomassa e características nutricionais do sorgo forrageiro verificou que na matéria fresca da parte aérea (MFPA), a interação fontes x doses de enxofre propiciaram um maior aumento no peso das plantas com o S elementar na forma de pó na dose de 80 mg dm^{-3} de S e superfosfato simples na dose de 40 mg dm^{-3} de S. Na produção

de matéria seca da parte aérea (MSPA), as maiores interações entre fontes x doses, também ocorreram com o S elementar na forma de pó na dose de 80 mg dm^{-3} de S e o superfosfato simples na dose de 40 mg dm^{-3} de S.

Para a fonte ureia houve ajuste quadrático, a melhor dose encontrada 74 mg dm^{-3} proporcionou o teor de $2,34 \text{ g kg}^{-1}$ (Figura 4), isso demonstra que a cultura do milho reagiu positivamente quando submetida ao tratamento tendo como fonte de fertilizante a ureia revestida com enxofre elementar.

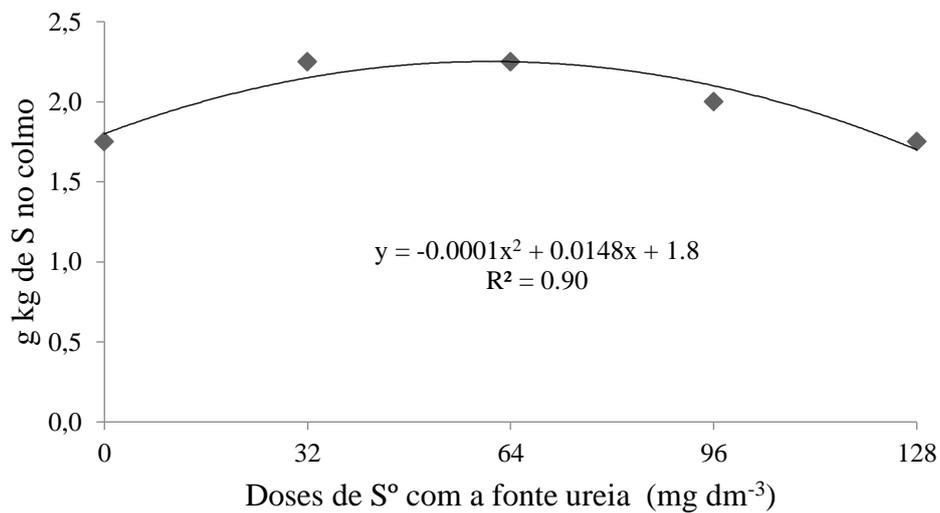


Figura 4. Teor de enxofre no colmo de milho, em função de doses de Ureia.

Estudo realizado usando misturas de ureia revestida com polímeros + enxofre e ureia convencional na produção do milho, verificou que a utilização de doses de N na forma de ureia polimerizada promoveram aumentos da produtividade de grãos de milho e da produção de MSPA, sendo a maior produtividade atingida com a dose de 240 kg ha^{-1} para o peso de grão e de 120 kg ha^{-1} de MSPA (VILLALBA et al., 2015).

Mendes et al. (2014) verificaram que quando comparados os valores médios para os diferentes tratamentos de cobertura, independente do híbrido utilizado, estes diferiram do tratamento sem enxofre, o tratamento ureia com enxofre (200 kg ha^{-1}) proporcionou a produção de $13.235 \text{ kg ha}^{-1}$, foi significativamente superior aos outros tratamentos em cobertura sem enxofre elementar (ureia 150 kg ha^{-1} , ureia 200 kg ha^{-1}) e com enxofre elementar na dosagem inferior (U+S 150 kg ha^{-1}), com 12.307 , 12.543 , $12.281 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente. A maior produtividade de grãos foi observada quando utilizada a associação de nitrogênio e enxofre elementar.

Os resultados obtidos podem ter acontecido por dois fatores principais: a questão do tempo de retirada das plantas (45 dias) não tendo sido completado o ciclo de oxidação do S^o

pelo solo a sulfato SO_4^{2-} sendo assim absorvido pelas plantas, e outro fator que não foi analisado, mas que é importante na oxidação é a microbiota presente no solo responsável pela oxidação microbológica.

3.5 CONCLUSÕES

1. Não foram constatadas diferenças significativas para as diferentes fontes fosfato monoamônico, superfostato triplo e ureia, revestidas pelo enxofre elementar como uma via alternativa para o tratamento e forma de fornecimento do nutriente S necessário ao desenvolvimento da cultura do milho.
2. As fontes de fertilizantes revestidos com enxofre elementar e enxofre elementar pastilhado não proporcionaram diferenças significativas nos teores de S foliares, de colmo e raiz na planta.
3. Não foi constatada resposta positiva à aplicação do enxofre elementar na cultura do milho.

4 CONCLUSÃO GERAL

Ao contrário do que se imaginou inicialmente nesse estudo, o enxofre elementar enquanto via alternativa de suprimento não apresentou um bom aproveitamento pela planta, não havendo diferenças significativas fontes revestidas testadas: o fosfato monoamônico, o superfosfato simples e a ureia, a variância não foi significativa quanto às diferentes doses à que foram submetidas às plantas.

Não houve diferenças significativas quanto ao aproveitamento do enxofre elementar revestindo diferentes fontes de fertilizantes, sendo que os teores de S foliares, do colmo e na raiz apresentaram resultados semelhantes quando submetidos aos diversos fertilizantes.

As doses não apresentaram relevância também quanto à eficiência de resposta da cultura ao enxofre elementar. Apresentando seu ponto mínimo de aproveitamento 36 mg dm^3 , quando submetida ao tratamento com fosfato monoamônico e seu ponto máximo 74 mg dm^3 , quando tratada com ureia revestida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. CFSEEMG, Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 24-32.
- ALVAREZ, V. H; NOVAIS, R.F; BARROS, N.F; FONTES, R.L; CANTARUTTI, R.B; FONTES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência e Solo, 2007.
- BEATON, J.D.; WAGNER, R.E. Sulphur: A vital component of maximum economic yield systems. **Sulphur in Agriculture**, v.9, p.1-7, 1985.
- CASTANÕN, T. H. F. M. **Efeitos de diferentes formas e fontes de enxofre na produção de biomassa, nas características nutricionais do sorgo forrageiro e nas propriedades do solo**. 2015. 68f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias Departamento de Ciências do Solo, Programa de Pós Graduação em Agronomia, Fortaleza, 2015.
- COELHO, A. M.; CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. Desafios para obtenção de altas produtividades de milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 2004, Cuiabá. **Palestras...** Cuiabá: ABMS/Embrapa Milho e Sorgo, 2004.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Acompanhamento de safra brasileira: **Grãos, Décimo primeiro levantamento**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253>> Acesso em 25/09/2017.
- CZYCZA, R.V; FONTANIVA, S; LANA, M.C.; FRANDOLOSO, J.F; VALE, F. 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
- FIORINI, I.V.A. **Resposta da cultura do milho a diferentes fontes de enxofre e formas de aplicação de micronutrientes**. 2011. 70f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, MG. 2011.
- FRANDOLOSO, J. F; LANA, M. C; FONTANIVA, S; CZYCZA, R. V. **Eficiência de adubos fosfatados associados a enxofre elementar na cultura do milho**. Revista Ceres, Viçosa, MG, v. 57, n. 5, p. 686-694, 2010.
- JÄRVAN, M.; EDESI, L.; ADAMSON, A.; LUKME, L.; AKK, A. The effect of sulphur fertilization on yield, quality of protein and baking properties of winter wheat. **Agronomy Research**, v.6, p.459-469, 2008.
- LUCHETA, A.R. **Oxidação microbiológica do enxofre elementar no solo**. 2010. 178f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura, Universidade de São Paulo, SP. 2010.
- MALAVOLTA, E. Nutri – Fatos: informação agrônômica sobre nutrientes para as culturas. **Arquivo do Agrônomo**, Piracicaba, n. 10, p.11-12, 1996.

MENDES, M. C; WALTER, A.L.B; POSSATO, O; RIZZADI, D.A; SCHLOSSER, J; SZEUCZUCK. Doses de nitrogênio associado a enxofre em cobertura na cultura do milho em plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.13, n.1, p. 96-106, 2014.

MELO, L. C. A; AVANZI, J.C; CARVALHO, R; SOUZA, F.S; PEREIRA, J.L.A.R; MENDES, A.D.R; MACEDO, G.B. Nutrição e produção de matéria de seca de milho submetido à calagem e adubação sulfatada. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, v. 41, n. 2, p. 193-199, abr./jun. 2011.

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: Comunicado Técnico, 2008.

ORIOLI JÚNIOR, V. Adubação nitrogenada e sulfatada aplicada em semeadura via fertilizante convencional e contendo S^o, na nutrição e produção de grãos de milho. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 12, n. 1, p.30-36, 2013.

OSÓRIO FILHO, B.D. **Dinâmica de enxofre no sistema solo e resposta das culturas à adubação sulfatada**. 2006. 76f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2006.

PAES, M.C.D. **Aspectos Físicos, Químicos e Tecnológicos do Grão de Milho**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, p. 02 – 06, dez. 2006.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A. V. LUMBRERAS, J. F. COELHO, M.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. rev. ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2013, 353 p.

SANGOI, L.; SILVA, P. R. F. da; ARGENTA, G. Arranjo espacial de plantas de milho: como otimizá-lo para maximizar o rendimento de grãos. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 2004, Cuiabá. **Palestras...** Cuiabá: ABMS/Embrapa Milho e Sorgo, 2004.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Distrito Federal: Brasília, 2009, 627p.

VILLALBA, H.A.G. **Misturas de ureia revestida com polímeros + enxofre e ureia convencional na produção de milho**. Natal: XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2015.