

VIII Semana de Ciência e Tecnologia do IFMG *campus* Bambuí, I Seminário dos estudantes de Pós-graduação

**Produção de matéria seca e absorção de S por cultivo sucessivo milho-soja de fertilizante composto por S<sup>0</sup> e óxidos de Zn, Mn e Cu**

**Wedisson Oliveira Santos<sup>(1)</sup>; Rodolfo Fagundes Costa<sup>(2)</sup>; Edson Marcio Mattiello<sup>(3)</sup>**

<sup>(1)</sup> Doutorando em Solos e Nutrição de Plantas pelo Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, UFV <sup>(2)</sup> Graduando em Agronomia – UFV <sup>(3)</sup> Professor Orientador – UFV.

**RESUMO** – A baixa fertilidade dos solos tropicais agricultados, associado às elevadas extrações de nutrientes pelos cultivos, ausência ou a baixa concentração de enxofre (S) em formulações NPK e às baixas eficiências de fontes convencionais de Zn, Mn e Cu, têm promovido acentuadas deficiências destes nutrientes em diversas áreas agrícolas. Assim, esse estudo objetivou o desenvolvimento e avaliação agronômica de um fertilizante resultante da associação de enxofre elementar (S<sup>0</sup>) com óxidos de Zn, Mn e Cu, denominado S<sup>0</sup>\_micro. Para tanto, o experimento foi desenvolvido em esquema fatorial [2 x (3+1) x 3], sendo dois solos (argiloso e arenoso), três fertilizantes (S<sup>0</sup>\_micro; S<sup>0</sup>\_micro<sub>Af</sub>- Sulfatos e um Controle) e três tempos de cultivo (15, 30 e 45 d) em blocos casualizados, com três repetições. O fertilizante S<sup>0</sup>\_micro<sub>Af</sub> trata-se do fertilizante S<sup>0</sup>\_micro inoculado com a bactéria *Acidithiobacillus ferrooxidans*. Já o fertilizante Sulfatos foi obtido pela mistura de CaSO<sub>4</sub>, ZnSO<sub>4</sub>, MnSO<sub>4</sub> e CuSO<sub>4</sub>. Esse experimento foi montado em sistema de cultivo sucessivo, em condições de casa de vegetação, sendo inicialmente cultivado milho (*Zea mays* L.) e posteriormente, soja (*Glicine max* L.). Os fertilizantes S<sup>0</sup>\_micro e S<sup>0</sup>\_micro<sub>Af</sub> foram superiores em termos de produção de matéria seca pelo milho em solo argiloso e comparável aos Sulfatos em solo arenoso. Para o solo argiloso, a absorção de S não se diferenciou entre esses fertilizantes. Já em solo arenoso, os Sulfatos foram mais eficientes. Não houve efeito da inoculação de *A. ferrooxidans* para nenhuma das características avaliadas, indicando que a microbiota nativa prevalece na oxidação de S<sup>0</sup> em condições de solo. Assim, esse trabalho demonstra que o fertilizante S<sup>0</sup>\_micro representa um produto mais eficiente que os Sulfatos para solos argilosos em termos de produção de matéria seca. A inoculação da bactéria *A. ferrooxidans* ao fertilizante S<sup>0</sup>\_micro não é necessária visando o aumento de sua eficiência.

**Palavras chave:** enxofre elementar, micronutrientes, fertilizantes

## INTRODUÇÃO

O uso crescente de fertilizantes NPK com baixa concentração de S, juntamente com sua reduzida deposição atmosférica, perdas por lixiviação e a remoção por culturas de alta produtividade, tem provocado deficiências de S em escala global (Stevenson e Cole, 1999; Scherer, 2001; Horowitz e Meurer, 2006).

O enxofre elementar ( $S^0$ ) é uma fonte atrativa devido a sua alta concentração de S (95-99 %  $m\ m^{-1}$ ) e maior efeito residual comparado às fontes solúveis, como Sulfatos (Janzen e Bettany 1987). Entretanto, a eficiência do  $S^0$  como fertilizante ainda é questionável (Primo et al., 2012), uma vez que para ser absorvido pelas plantas é necessário ser oxidado à sulfato. Essa dissolução oxidativa depende da atividade microbiana do solo (Janzen e Bettany, 1987). A bactéria *Acidithiobacillus ferrooxidans*, devido à sua capacidade de oxidar formas reduzidas de S, incluindo o  $S^0$  poderá otimizar a oxidação desse elemento em condições de solo.

O objetivo deste trabalho foi produzir e avaliar um fertilizante composto por  $S^0$  e óxidos de Zn, Mn e Cu sem e com inoculação com a bactéria *A. ferrooxidans* comparando com fontes sulfatadas desse nutrientes, em diferentes texturas de solo e tempo de cultivo. As avaliações foram feitas em cultivo sucessivo milho-soja, sendo avaliada a produção de matéria seca e teores acumulados de S.

## MATERIAL E MÉTODOS

O fertilizante  $S^0$ \_micro foi produzido nas instalações do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa. Em chapa aquecedora, à 140 °C, foi fundido o  $S^0$ , seguido da mistura com ZnO, MnO<sub>2</sub> and CuO e bentonita [(Al<sub>2</sub> Fe Mg)Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub> Na<sup>+</sup>Ca<sup>++</sup>]. Após o resfriamento sobre placa de alumínio, o fertilizante  $S^0$ \_micro foi moído e peneirado (< 150 µm). A composição do fertilizante  $S^0$ \_micro foi 75, 7,5, 3,7 e 1,9 % m/m de S, Mn, Zn, Cu, respectivamente. À mistura, foi adicionada ainda bentonita (8,6 % m/m) objetivando promover maior dispersão do fertilizante no solo.

Para avaliar o efeito da bactéria *A. ferrooxidans* (linhagem RL) na oxidação do  $S^0$ , uma solução contendo 107 células/mL foi pulverizada sobre as amostras  $S^0$ \_micro, considerando uma dose de 120 uL/g de  $S^0$ \_micro. Após a inoculação, o fertilizante  $S^0$ \_micro<sub>Af</sub> foi seco em estufa à 27± 3 °C por 30 min.

As performances do fertilizantes  $S^0$ \_micro e  $S^0$ \_micro<sub>Af</sub> em comparação com os Sulfatos foram avaliadas em casa de vegetação. Para tanto, o experimento foi desenvolvido em esquema fatorial [2 x (3+1) x 3], sendo dois solos (argiloso e arenoso), três fertilizantes ( $S^0$ \_micro;  $S^0$ \_micro<sub>Af</sub> Sulfatos e um Controle) e três tempos de cultivo (15, 30 e 45 d), em blocos

casualizados, com três repetições. O fertilizante S<sup>0</sup>\_micro<sub>Af</sub> trata-se do fertilizante S<sup>0</sup>\_micro inoculado com a bactéria *A. ferrooxidans*. Já o fertilizante Sulfatos foi obtido pela mistura de CaSO<sub>4</sub>, ZnSO<sub>4</sub>, MnSO<sub>4</sub> e CuSO<sub>4</sub>. Esse experimento foi montado em sistema de cultivo sucessivo, sendo inicialmente cultivado milho (*Zea mays* L.) e posteriormente, soja (*Glicine max* L.), que foram colhidos aos 45 d após germinação.

Uma mistura de calcários contendo a proporção m/m 3/1 de CaCO<sub>3</sub>/MgCO<sub>3</sub> foi aplicada 30 d antes do plantio para elevar a saturação por bases para 60 %. Após a reação do calcário, o cultivo de milho se procedeu em potes plásticos contendo 3 dm<sup>3</sup> de solo. Fertilizações considerando 150 mg dm<sup>-3</sup> de solo de N como uréia, 300 (solo argiloso) e 150 (solo arenoso) mg dm<sup>-3</sup> de P como superfosfato triplo, 180 mg dm<sup>-3</sup> de K como KCl, 0,818 mg dm<sup>-3</sup> de B como H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, 0,150 mg dm<sup>-3</sup> de Mo como ((NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>.4H<sub>2</sub>O) foram aplicadas durante o cultivo. Exceto, para P, demais nutrientes foram parcelados. Para o segundo cultivo (soja), a bactéria fixadora de N *Bradyrhizobium japonicum* foi inoculada às sementes, não sendo aplicado N nesse cultivo.

As doses de S, Mn, Zn e Cu corresponderam a 120, 12, 6 e 3 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente. Em tratamentos correspondente ao Sulfatos, foram utilizadas misturas de CaSO<sub>4</sub>, ZnSO<sub>4</sub>, MnSO<sub>4</sub> e CuSO<sub>4</sub>. As plantas foram colhidas após o cultivo, sendo as partes aéreas lavadas em água destilada, secas e suas matérias secas pesadas. Esse material foi digerido em mistura de ácido nítrico/perclórico na proporção v/v 3/1. As concentrações de S, Zn, Mn e Cu foram determinadas por meio de espectrometria de emissão atômica com plasma acoplado por indução (ICP-OES).

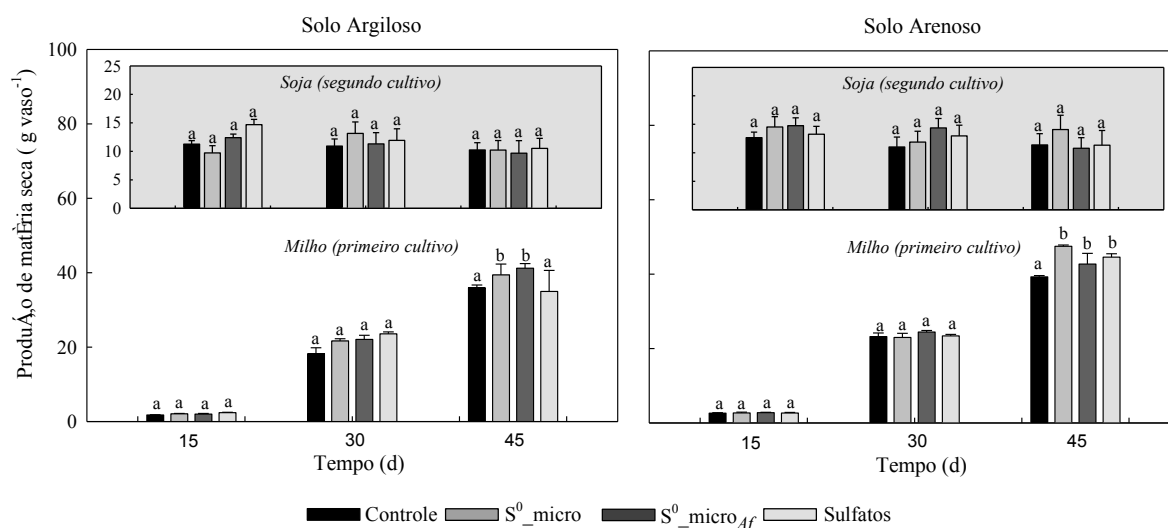
Os dados foram analisados por meio de análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas utilizando o teste Scott-Knott (1974).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os fertilizantes S<sup>0</sup>\_micro e S<sup>0</sup>\_micro<sub>Af</sub> foram mais efetivos no aumento de produção de matéria seca no cultivo do milho em comparação aos Sulfatos, em solo argiloso. Já em solo arenoso, seus efeitos foram equivalentes aos Sulfatos. Esses efeitos foram detectados aos 45 d de cultivo do milho (Figura 1). No segundo cultivo, de soja, os fertilizantes não se diferenciaram em termos de produção de matéria seca. Para ambos os cultivos, a presença da bactéria *A. ferrooxidans* (S<sup>0</sup>\_micro<sub>Af</sub>) não promoveu efeito adicional sobre a produção de matéria seca.

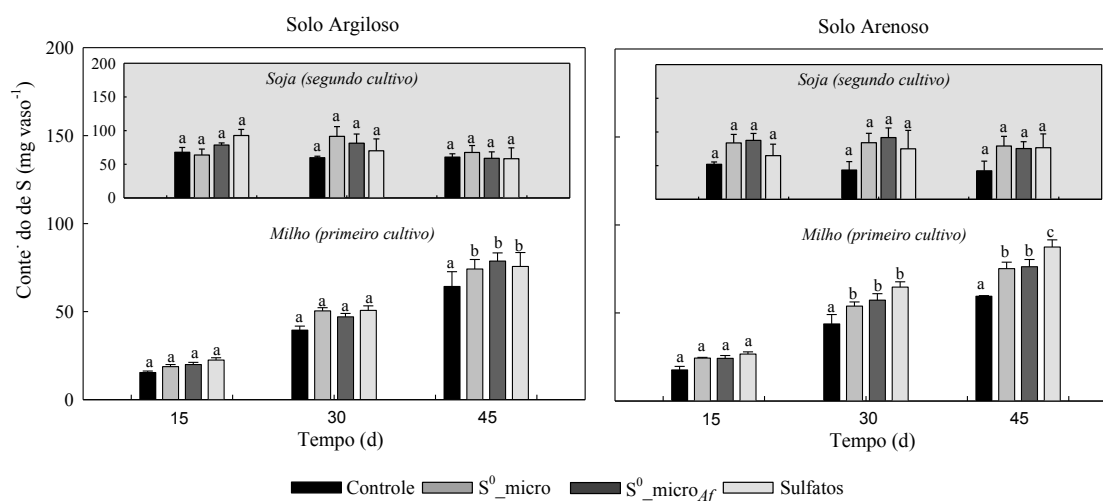
A maior eficiência do fertilizante S<sup>0</sup>\_micro em solo argiloso, no primeiro cultivo, pode estar associado à liberação mais lenta de nutrientes em comparação às fontes de maior solubilidade, os Sulfatos. Assim, liberações mais controladas de S, Mn, Cu e Zn do fertilizante S<sup>0</sup>\_micro pode ter prevenido suas quimiossorções nas argilas, com maior destaque para os óxi-hidróxidos de Fe e Al, além de complexação pela matéria orgânica, principalmente para Cu, Mn e Zn e imobilização do S.

A maior capacidade da soja em acidificar a rizosfera, decorrente da absorção de N via simbiose, pode ter promovido maior disponibilidade de Zn, Mn e Cu, inclusive da reserva do solo, por isso, certamente não houve efeito residual diferencial entre os fertilizantes.



**Figura 1.** Produção de matéria seca em função de fontes de S, Zn, Mn e Cu em cultivo sucessivo milho-soja. S<sup>0</sup>\_micro é uma mistura granulada de S<sup>0</sup> com ZnO, MnO<sub>2</sub> e CuO. S<sup>0</sup>\_micro<sub>Af</sub> trata-se do S<sup>0</sup>\_micro inoculado com *Acidithiobacillus ferrooxidans*. Sulfatos é uma mistura de CaSO<sub>4</sub>, ZnSO<sub>4</sub>, MnSO<sub>4</sub> e CuSO<sub>4</sub>. Médias em grupos de colunas, seguidas de mesma letra, não diferenciam entre si pelo teste Skott knott a 5% de probabilidade.

A absorção de S pelo milho foi equivalente entre fertilizantes, exceto para o solo arenoso, aos 45 d de cultivo, quando a fonte sulfatos foi mais efetiva (Figura 2). Assim como para a produção de matéria seca, os fertilizantes não promoveram qualquer efeito residual no segundo cultivo, como a presença da bactéria *A. ferrooxidans* (Figuras 1 e 2). O desempenho do S<sup>0</sup>\_micro em termos de produção de matéria seca e absorção de S confirma a ocorrência de oxidação do S<sup>0</sup> à S<sup>+6</sup> pela microbiota do solo. Alguns estudos mostram a existência de grande diversidade de microrganismos, além de *A. ferrooxidans*, capazes de oxidar o S<sup>0</sup> à sulfato no solo, como os quimiolitotróficos (*Thiomicrospira* e *Thiosphaera*), heterotróficos (*Alcaligenes*, *Paracoccus*, *Xanthobacter*, *Epicoccum nigrum*, *Alternaria tenuis*, *Aureobasidium pullulans*, *Penicillium spp*, *Aspergillus*, *Scolecobasidium constrictum* e *Myrothecium cinctum*) (Kuenen e Beudeker, 1982; Germida e Janzen, 1993; Friedrich et al., 2001; Wainwright, 1978 e Shinde, 1996).



**Figura 2.** Conteúdo de S em função de fontes de S, Zn, Mn e Cu em cultivo sucessivo milho-soja. S<sup>0</sup>\_micro é uma mistura granulada de S<sup>0</sup> com ZnO, MnO<sub>2</sub> e CuO. S<sup>0</sup>\_micro<sub>Af</sub> trata-se do S<sup>0</sup>\_micro inoculado com *Acidithiobacillus ferrooxidans*. Sulfatos é uma mistura de CaSO<sub>4</sub>, ZnSO<sub>4</sub>, MnSO<sub>4</sub> e CuSO<sub>4</sub>. Médias em grupos de colunas seguidas de mesma letra não diferenciam entre si pelo teste Skott knott a 5% de probabilidade.

## CONCLUSÕES

O fertilizante S<sup>0</sup>\_micro é uma alternativa mais eficiente que fontes sulfatadas na produção de matéria do milho em solo argiloso e equivalente à sulfatos em solo arenoso. Em solo arenoso, fontes solúveis de S, como os sulfatos, são mais efetivos quanto ao acúmulo de S pelo cultivo de milho. A presença da bactéria *A. ferrooxidans* não promove efeito adicional sobre a produção de matéria seca ou acúmulo de S em cultivo sucessivo milho-soja.

## REFERÊNCIAS

- FRIEDRICH, C.G.; ROTHER, D.; BARDISCHEWSKY, F.; QUENTMEIER, A; FISCHER, J. 2001. Oxidation of reduced inorganic sulphur compounds by bacteria: Emergence of a common mechanism? *Applied Environmental Microbiology.*, v.67, p.2873-2882.
- GERMIDA, L. L.; JANZEN, H. H. 1993. Factors affecting the oxidation of elemental sulfur in soils. *Fertilizer Research* v. 35, p.101-114.
- HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Oxidação do enxofre elementar em solos tropicais. *Ciência Rural* v. 36, p. 822-828, 2006.
- JANZEN, H. H.; J. R. BETTANY. Measurement of sulfur oxidation in soils. *Soil Science* v. 143, p.444-452, 1987.
- KUENEN J.G.; BEUDEKER R.F. 1982. Microbiology of thiobacilli and other sulphur-oxidizing autotrophs, mixotrophs and heterotrophs. *Phil Trans Soc Lond B*, v.298, p.473-497
- PRIMO, J. P.; SILVA, C. A. T.; FERNANDES, F. C. S. Efeito da adubação com enxofre na cultura da soja. *Cultivando o Saber.* v. 5, p.74-80, 2012.
- SCHERER, H. W. Sulphur in crop production. *European Journal of Agronomy* v.14, p.81-111, 2001.
- SHINDE, D.B., PATIL, P.L.; PATIL, B.R. 1996. Potential use of sulphur oxidizing microorganism as soil inoculant. *Field Crop Research*, v.11, p.291-295.
- STEVENSON, F. J.; COLE, M. A. 1999. *Cycles of soil: Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients.* 2.ed. New York, John Wiley & Sons, 1999. 427p.
- WAINWRIGHT, M., 1978. A modified sulphur medium studied the isolation of sulphur oxidising fungi. *Plant and Soil* v.49, p.191-193.