

OPEN ACCESS

Óxidos e oxí-sulfatos como fontes de micronutrientes na construção da fertilidade de solo de cerrado

Editado por:

Dr. Vinicius Batista Campos
Instituto Federal da Paraíba, Princesa Isabel-
PB, Brasil

Oxides and oxy-sulphates as sources of micronutrients in the construction of the fertility of an oxisol

Seção:

^{1, ID} Domingos Paschoal Marcon TEZZA NETO, ^{2,* ID} Alvaro José Gomes de FARIA,
^{1, ID} Evandro Alves RIBEIRO, ^{1, ID} Fabriny da Silva RIBEIRO, ^{3, ID} Rubson da Costa
LEITE e ^{1, ID} Rubens Ribeiro da SILVA

Esse artigo foi submetido em Ciências Agrárias
uma seção do *Journal of Bioenergy and Food
Science*

ID JBFS2602019

DOI 10.18067/jbfs.v6i4.260

Processos de revisão:
Prot. 2602019R01 (Brasil)
Prot. 2602019R03 (Brasil)

*Autor correspondente:

Alvaro José Gomes de Faria
ajgomesdefaria@hotmail.com

Conflito de interesse:

Os autores declararam que não há conflito de
interesse.

Financiamento:

Os autores declararam que não receberam
financiamento para o desenvolvimento da
pesquisa.

Recebido em: 08 de janeiro de 2019

Aceito em: 10 de agosto de 2019

Publicado em: 01 de outubro de 2019

Citação (APA):

Neto, D.P.M.T., Faria, A.J.G. de., Ribeiro, E.A.,
Ribeiro, F.S., Leite, R.C., & Silva, R.R. (2019).
Óxidos e oxí-sulfatos como fontes de
micronutrientes na construção da fertilidade
de solo de cerrado, *Journal of Bioenergy and
Food Science*, 6(4): 109-118. doi:
10.18067/jbfs.v6i4.260



JBFS all rights
Copyright: © 2019

¹ Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal do Tocantins (UFT), Campus Gurupi - TO. Rua Badejós, Chácaras 69/72 s/n, Zona Rural, CEP: 77402-970. Gurupi-TO. Brasil.

² Pós-Graduando em Ciência do Solo pela Universidade Federal de Lavras (UFLA), Campus Lavras - MG. Departamento de ciência do solo, s/n, CEP: 37200-000. Lavras-MG. Brasil.

³ Pós-Graduando em Agronomia pela Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), campus Belém - PA. Av. Presidente Tancredo Neves, Terra Firme, CEP 66077-530. Belém-PA. Brasil.

RESUMO

Em solos de cerrado tem sido cada vez mais frequente o surgimento de casos de deficiência de micronutrientes em diversas culturas, sendo ocasionado pela aplicação incorreta das fontes e doses de micronutrientes no solo. Diante disso, objetivou-se com este trabalho avaliar fontes e doses de diferentes solubilidades em água na construção da fertilidade em micronutrientes em solo do cerrado. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, o solo utilizado foi um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico. O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC), arranjado em esquema fatorial 6 x 2, com três repetições. Os tratamentos constituíram-se de tratamento controle e cinco doses para cada fonte (0; 50; 100; 150; 200 e 250 kg ha⁻¹) e duas fontes de micronutrientes de diferentes solubilidades em água (FTE BR12 e Spene®). O Spene® apresenta maior disponibilidade de Cu, Zn, B e Mn em relação ao FTE BR12, independentemente da dose utilizada. A eficiência agrônoma na disponibilidade de Cu, Zn e Mn, com o uso da fonte Spene®, é 29, 11 e 5% superior em relação ao uso da fonte FTE BR12. O uso do Spene® em solos do cerrado pode se apresentar como uma alternativa promissora na disponibilidade de micronutriente as culturas.

Palavras-chave: Cobre. Zinco. Boro. Manganês.

ABSTRACT

In cerrado soils, the occurrence of micronutrient deficiency in several crops has been more and more frequent, being caused by the incorrect application of micronutrient sources and doses in the soil. Therefore, the objective of this work was to evaluate sources and doses of different water solubilities in the construction of micronutrient fertility in cerrado soil. The experiment was conducted in a greenhouse, the soil used was a dystrophic Red-Yellow Oxisol. The experimental design was in randomized block (DBC), arranged in a 6 x 2 factorial scheme, with three replications. The treatments consisted of control treatment and five doses for each source (0; 50; 100; 150; 200 and 250 kg ha⁻¹) and two micronutrient sources of different water solubilization (FTE BR12 and Spene®). Spene® presented higher Cu, Zn, B and Mn availability compared to FTE BR12, regardless of the dose used. The agronomic efficiency of Cu, Zn and Mn availability with the use of the Spene® source is 29, 11 and 5% higher than the use of the FTE BR12 source. The use of Spene® in cerrado soils may be a promising alternative in the availability of micronutrient crops.

Keywords: Copper. Zinc. Boron. Manganese.

INTRODUÇÃO

No Brasil, o consumo de fertilizantes minerais (macronutrientes e os micronutrientes) no ano de 2017 chegou a 34,4 milhões de toneladas, indicando um aumento de 22% em relação ao ano de 2011 (ANDA, 2017). A região do cerrado detém a maior parte da comercialização destes fertilizantes, sabido que os solos desta região, apresentam características químicas e físicas que favorece a baixa disponibilidade de nutrientes para as plantas (ANDA, 2017; Haridasan, 2008).

Durante muitos anos a real preocupação dos pesquisadores e produtores em solos do cerrado era na correção da acidez do solo e suprimento de N, P, K, Ca, Mg e S. Já o suprimento de B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn e Ni tinham pouca expressividade, já que a demanda por estes elementos para se conseguir antigos tetos produtivos nas principais culturas (soja e milho) era suprida por traços desses elementos adicionados aos fertilizantes básicos (N, P, K) e nos residuais existentes no solo.

Com o passar dos anos houve a necessidade de aumento dos tetos produtivos das culturas e conseqüentemente elevou-se também a demanda por micronutrientes, dessa forma os micronutrientes suprido via fertilizantes básicos e os residuais presentes no solo já não e mais suficiente, provocando a necessidade de aplicação de fontes específicas de micronutrientes ao solo junto ao processo produtivo das principais culturas (Silva, Junior, Lana & Lana, 2014).

Nesse novo cenário ressurgue a preocupação com as recomendações de micronutrientes e dentre eles o Cu, B e Mn se torna importante, anteriormente apenas o Zn, era adicionado solo via fertilizantes básicos no cultivo do milho. Silva et al. (2014) relatam que o aumento da produtividade e as constantes exportações de Cu, B e Mn nos últimos tempos provocou também o aumento dos relatos nos sintomas de deficiência e com a aplicação de fontes de micronutrientes ocorria redução nestes sintomas e aumento em produtividade. De acordo com Marques, Schulze, Curi e Mertzman (2004) os solos do Cerrado apresentam teores totais de Cu, Zn, B e Mn equivalentes à metade do valor da média mundial.

Inúmeros trabalhos podem ser encontrados na literatura mostrando as funções de Cu, Zn, B e Mn nas plantas, sabido que os mesmos são essenciais e possuem inúmeras funções como constituintes de enzimas ou ativador enzimático nas plantas interferindo diretamente na produtividade das culturas agrícolas (Taiz, Zeiger & Santarém, 2004; Taiz & Zeiger, 2010; Goldberg & Suarez, 2012; Mascarenhas, Esteves Wutke & Gallo 2014).

Para o suprimento adequado dos micronutrientes no solo se faz necessária a construção da fertilidade do solo e para isso deve-se fazer a correta aplicação desses fertilizantes e assegurar uma boa disponibilidade nos solos do cerrado. Atualmente os solos do cerrado possuem teores considerados baixos ou muito baixo de micronutrientes, tais como: Cu ($0,4 \text{ mg dm}^{-3}$), Zn ($0,5 \text{ mg dm}^{-3}$), B ($0,1 \text{ mg dm}^{-3}$) e Mn ($4,0 \text{ mg dm}^{-3}$) (Radambrasil, 1981), o que causa bastante preocupação, estes valores vem reduzindo a cada safra onde não é realizado a aplicação de micronutrientes ou a construção da fertilidade com estes elementos.

A elevação nos teores disponíveis no solo de micronutrientes construindo assim a sua fertilidade é dependente de muitos fatores como: equilíbrio químico do solo, manejo de aplicação e qualidade das fontes dos fertilizantes usados. Esses fatores por sua vez tendem a controlar a eficiência da adubação.

As fontes de micronutrientes podem ser subdivididas vários grupos de acordo com a sua solubilidade em água, os solúveis em água são: quelatos, nitratos, sulfatos e cloretos, e os insolúveis em água, mas disponíveis às plantas quando aplicados no solo, tais como os: carbonatos, fosfatos, óxidos, fritas, dentre outras (Vitti, Queiroz & Quintino, 2005; Godoy, Bôas, Yanagiwara, Backes & Lima, 2013). Cada uma dessas fontes atua de formas diferentes no solo e necessitam de mais estudos para se conseguir maior aproveitamento e redução do custo final na construção da fertilidade em micronutrientes no solo (Lacerda et al., 2017).

A hipótese deste trabalho é que a fonte de micronutrientes compostas por óxi-sulfato promovam maior disponibilidades de micronutrientes, bem como, a maior eficiência em solo do cerrado. Desta forma, objetivou-se com este trabalho avaliar fontes e doses de diferentes solubilidades em água na construção da fertilidade em micronutrientes em solo do cerrado.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido por 30 dias em casa de vegetação situado na estação experimental da Universidade Federal do Tocantins - Campus Gurupi, localizado na região sul do Tocantins, a 280 m de altitude e coordenadas 11° 43' 45" S e 49° 04' 07" O. A casa de vegetação possuía como medida cerca de 4 x 20 m nas dimensões de largura e comprimento, respectivamente. Coberta com plástico transparente (150 micras) e cercada sombrite com capacidade de retenção de 50% da radiação solar incidente.

O solo utilizado foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico segundo Embrapa (2013). A coleta do solo foi realizada na camada de 0,00 – 0,20 m no município de Santa Rosa do Tocantins, nas coordenadas 11° 26' 56" S e 48° 07' 14" O. A caracterização química e textural foi realizada segundo Embrapa (1997), os valores estão representados na tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química e granulométrica de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, coletado na camada de 0,00 – 0,20 m de profundidade.

Table 1. Chemical and particle size characterization of a dystrophic Red-Yellow Latosol collected at a depth of 0.0-0.20 m.

Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	CTC (T)	SB	CTC (t)	K	P
----- (cmolc.dm ⁻³) -----						----- (mg.dm ⁻³) -----		
1,60	0,60	0,00	3,10	5,40	2,37	2,37	65,0	21,80
V	m	Matéria Orgânica		pH (CaCl ₂)	Areia	Silte	Argila	
----- (%) -----		(%)	(g.dm ⁻³)		----- (g.kg ⁻¹) -----			
43,00	0,00	1,60	16,00	5,00	670	50	280	
B	Cu	Fe	Mn	Zn				
----- (mg dm ⁻³) -----								
0,20	0,80	31,00	1,90	1,70				

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados (DBC), com quatro repetições, em esquema fatorial 6 x 2, cujos fatores foram constituídos do tratamento controle (sem adubação com micronutrientes) e cinco doses de cada fonte (0; 50; 100; 150; 200 e 250 kg ha⁻¹); e duas fontes de adubação com micronutrientes de diferentes

solubilidades em água (FTE BR12 e Spene®). A fonte FTE BR12 é classificada como óxido e o Spene® é classificado como óxi-sulfato.

O FTE BR12 é classificado como fonte oxídica e possui em sua composição os seguintes micronutrientes: B (1,6%), Cu (1,6%), Mn (8%) e Zn (12%) na forma de óxidos de baixa solubilidade que também depende diretamente da sua granulometria. O Spene® é classificado como óxi-sulfato e possui em sua formulação maiores concentrações de micronutrientes, em relação a fonte FTE BR12, tais como B (4%), Cu (4%), Mn (10%) e Zn (10%). O Spene® possui solubilidade intermediária, mesmo quando aplicado na forma granular. O Spene® é produzido por acidulação parcial com ácido sulfúrico dos óxidos, de tal forma que o produto final contém micronutrientes, especialmente zinco e manganês, nas formas de óxido e sulfato (Vitti et al., 2005; TIMAC AGRO, 2019).

Os dados foram obtidos através da realização da incubação do solo utilizando sacos plásticos resistentes com 1,0 dm³ de solo. Inicialmente foi adicionado cerca de 1,0 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (30% de CaO, 18% de MgO e PRNT = 97,55%) ao solo com posterior incubação por um período de 30 dias. Após este período cada saco plástico, contendo o solo já corrigido, recebeu os tratamentos pré-estabelecidos. Após esta etapa uma nova incubação foi realizada por um período também de 30 dias. A umidade do solo durante a incubação foi mantida a 70% da capacidade de campo, determinada com base no consumo médio de água para atingir o ponto de friabilidade (Korndörfer, Lara-Cabezas & Horowitz, 1999). Os sacos plásticos foram fechados e submetidos a aberturas periódicas para ocorrer trocas gasosas.

Ao final da incubação do solo corrigido com os respectivos tratamentos foram coletadas e posteriormente encaminhadas ao laboratório as amostras de solo para verificar a eficiência das fontes testadas em disponibilizar micronutriente, bem como, investigar se estas adubações com micronutrientes são suficientes para chegar aos teores ideais, para a construção do solo. Foi realizado também a eficiência agrônômica para cada nutriente dentro de cada fonte. A eficiência agrônômica foi determinada levando-se em conta a quantidade total aplicado no solo, a porcentagem de cada elemento presente em cada fonte de micronutrientes testada e os teores de cada micronutriente já presentes no solo (tratamento controle).

Os resultados foram submetidos a análise de variância, quando significativo pelo teste F, as fontes de micronutrientes foram comparadas pelo teste Tukey ($p < 0,01$ e $p < 0,05$); e o efeito das doses de adubação analisado por regressão utilizando o programa Sisvar versão 5.6 (Ferreira, 2011), ajustando-se às equações para expressar adequadamente o comportamento das variáveis. Os gráficos de regressão foram plotados utilizando o programa SigmaPlot versão 12.5®.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Contata-se na tabela 2 respostas significativas ($p < 0,01$) na interação de doses e fontes para todos os micronutrientes avaliados no solo, com exceção do Zn, este mesmo comportamento foi observado para as fontes de adubação. As doses aplicadas influenciaram significativamente ($p < 0,01$) todos os teores de micronutrientes no solo.

Tabela 2. Análise de variância dos teores de micronutrientes: boro (B), cobre (Cu), manganês (Mn) e zinco (Zn) nas fontes FTE BR12 e Spene® de um Latossolo Vermelho-Amarelo em função das doses aplicadas para cada fonte (0; 50; 100; 150; 200 e 250 kg ha⁻¹).

Table 2. Analysis of variance of micronutrient contents: boron (B), copper (Cu), manganese (Mn) and zinc (Zn) in FTE BR12 and Spene® sources of a Red-Yellow Latosol as a function of the doses applied to each source (0; 50, 100, 150, 200 and 250 kg ha⁻¹).

FV	GL	B	Cu	Mn	Zn
		Quadrado Médio			
Doses (D)	5	0,07336**	2,3871**	2,399**	28,022**
Fontes (F)	1	0,2500**	10,890**	6,333**	0,0277 ^{ns}
Int. D X F	5	0,0260**	0,0996**	0,660**	0,3924 ^{ns}
Resíduos	24	0,0006	0,0152	0,065	0,196
Média geral		0,2667	1,727	2,50	4,31
C.V. (%)		29,97	7,15	10,21	10,10

FV: Fontes de Variação; C.V.: Coeficiente de Variação. **: significativo ao nível 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *: significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$); ^{ns}: não significativo.

SV: Sources of Variation; C.V.: Coefficient of Variation. **: significant at level 1% probability ($p < 0.01$); *: significant at 5% probability level ($p < 0.05$); ns: not significant.

Com o aumento das doses das fontes FTE BR12 e Spene® observou-se que os teores dos micronutrientes no solo se elevaram, apresentando comportamento linear, sendo que o Spene® foi a fonte de adubação que apresentou maior disponibilidade de micronutrientes para o solo. Constata-se também incrementos para B, Cu, Zn e Mn de 130; 70; 346; 61% e 430; 300; 358; 148%, na dose de 250 kg ha⁻¹, para as fontes FTE BR12 e Spene® respectivamente em relação ao tratamento controle (Figura 1A, 1B, 1C e 1D).

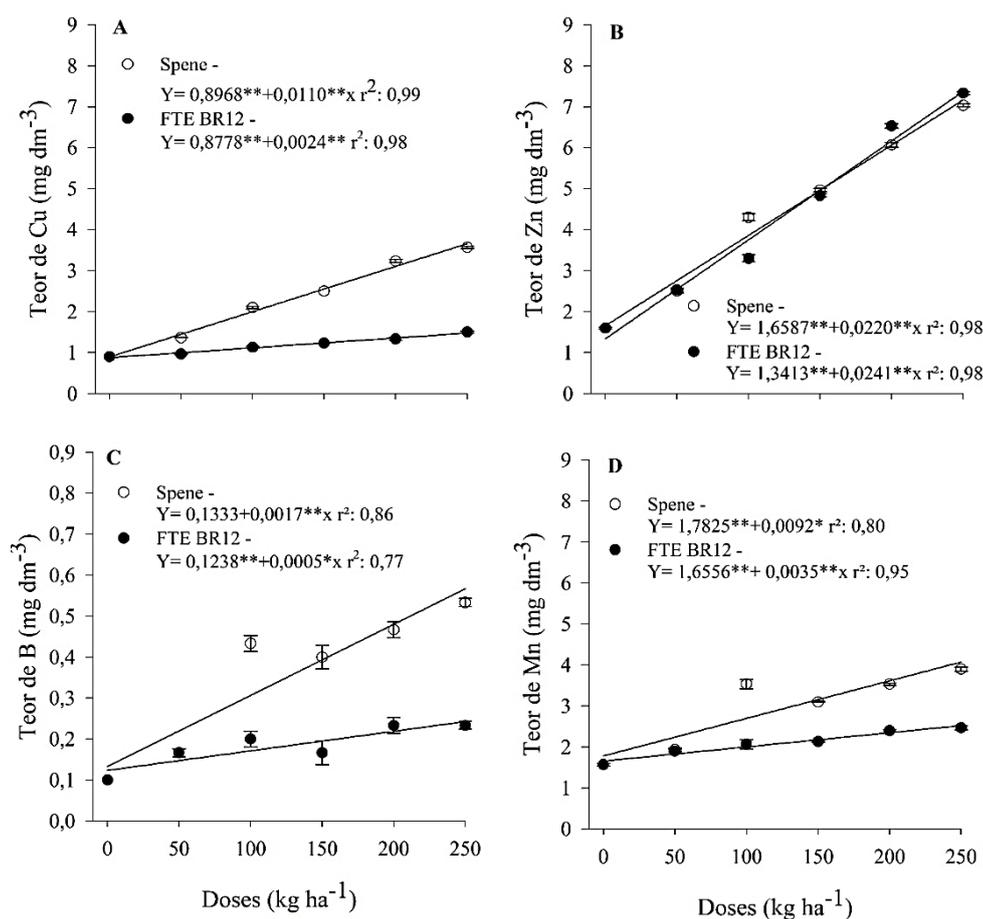


Figura 1. Teores disponíveis de cobre (A), zinco (B), boro (C) e manganês (D) em função das doses de FTE BR12 e Spene® (0; 50; 100; 150; 200; 250 kg ha⁻¹).

Figure 1. Available contents of copper (A), zinc (B), boron (C) and manganese (D) as a function of doses of FTE BR12 and Spene® (0; 50; 100; 150; 200; 250 kg ha⁻¹).

Segundo Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999) para que o solo possua valor crítico, ou seja, valor que se encontra no limite superior na classificação “média” de disponibilidade dos micronutrientes Cu, Zn B e Mn, o mesmo deve conter os teores 1,2; 1,5; 0,6 e 8,0 mg dm⁻³ respectivamente. Já para o elemento ser classificado como “Boa” disponibilidade o solo deve conter os teores 1,8, 2,2, 0,9 e 11 mg dm⁻³ (valores médios) para Cu, Zn B e Mn respectivamente.

De acordo com os resultados deste trabalho a fonte FTE BR12 na dose de 134,25 e 27,56 kg ha⁻¹ para as fontes FTE BR12 e Spene®, respectivamente, foi suficiente para elevar os teores de Cu ao nível crítico no solo. Por outro lado, mesmo na dose máxima aplicada (250 kg ha⁻¹) não foi suficiente para se alcançar os teores considerados “Bom” de Cu no solo em ambas as fontes testadas. Desta forma, para se alcançar o nível crítico de Cu no solo a fonte Spene®, classificada como óxi-sulfato, mostrou ser mais eficiente que a fonte FTE BR12, devido possivelmente a maior porcentagem de Cu em sua formulação, bem como, sua maior solubilidade no solo.

Para o Zn foi verificado que os teores presentes no solo (Tabela 1) já se encontra no teor considerado crítico no solo, dessa forma não será necessário a aplicação de ambas as fontes de micronutrientes. Já para se obter os teores considerados “Bons” no solo foi verificado que a aplicação de 35,63 e 24,60 kg ha⁻¹ para as fontes FTE BR12 e Spene® seja suficiente (Figura 1B). A diferença de concentração de Zn entre as fontes usadas é de 2%, o que favoreceu a fonte Spene® (mais solúvel) em alcançar os melhores resultados em disponibilidade no solo com doses relativamente menores que a fonte FTE BR12.

Pode-se verificar que ambas as fontes de micronutriente, mesmo na dose máxima aplicada (250 kg ha⁻¹), não foi possível alcançar os teores críticos de B e Mn, bem como, os teores considerados “Bons” no solo durante o período e nas condições deste trabalho (Figuras 1C e 1D). Mesmo não alcançando os teores críticos de B e Mn no solo observa-se que a fonte Spene® novamente foi a que obteve os melhores resultados em comparação com a fonte FTE BR12.

Devido a pequena contribuição de ambas as fontes na disponibilidade de B e Mn em solo do cerrado, pode se fazer o uso outras fontes de B e/ou Mn para que se possa elevar os teores no solo ou até mesmo utilizar a aplicação foliar destes elementos para complementar a adubação via solo, evitando assim possíveis deficiências (Reis, Peres, Biscaro, Kulczynski & Fenandes, 2008; Carvalho, Oliveira & Caldeira, 2014).

Os baixos teores de matéria orgânica (1,6%) no solo podem também ter contribuído para os baixos teores de B e Mn no solo (Tabela 1) (Ribeiro et al., 1999), uma vez que esta é uma das principais fontes destes nutrientes no solo (Zanão Júnior, Lana & Guimarães, 2007).

Manter os teores de micronutrientes no solo em níveis ideais se torna importantes para se conseguir elevados tetos produtivos, pois sabemos que os micronutrientes são tão importantes quanto os macronutrientes para a nutrição das plantas, embora as plantas não necessitem deles em grandes quantidades. Assim, sabemos que a falta de Cu, Zn, B e Mn no solo pode limitar o crescimento e a produção das plantas, mesmo quando todos os outros nutrientes essenciais estão presentes em quantidades adequadas (lei do mínimo) (Carmo, Nannetti, Lacerda, Nannetti & Santo, 2012).

Os autores Couto Junior, Silva e Lana, (2013) concluíram que a aplicação de uma fonte sulfatada nas doses de 20, 40, 60 e 80 mg dm⁻³ de Mn em um Latossolo Amarelo

ácrico típico proporcionou também aumento nos teores de Mn no solo conforme a dose aplicada, os autores ainda complementam que na dose de 20 mg dm⁻³ o teor observado estava classificado como muito elevado, ou seja, > 12 mg dm⁻³. Mostrando assim a eficiência de fontes sulfatadas ou aquelas que contenha esta propriedade, Spene®, na disponibilidade de Mn ao solo.

No trabalho realizado por Lopes (1999) a fonte FTE BR12 (oxídica) apresentou um incremento de 58% nos teores de Zn no solo em relação ao tratamento controle. Por outro lado, Vitti et al. (2005) explica que esta fonte não é eficiente para as culturas de ciclo curto, se aplicados na forma granular, uma vez que a superfície específica é bastante reduzida neste caso e por possuir baixa solubilidade em água.

Doses crescentes de cada fonte de micronutrientes (FTE BR12 e Spene®) promoveu resposta quadrática na eficiência agrônômica dos elementos Cu, Zn, B em ambas as fontes e resposta linear decrescente para Mn, apenas para a fonte FTE BR12 (Figura 2).

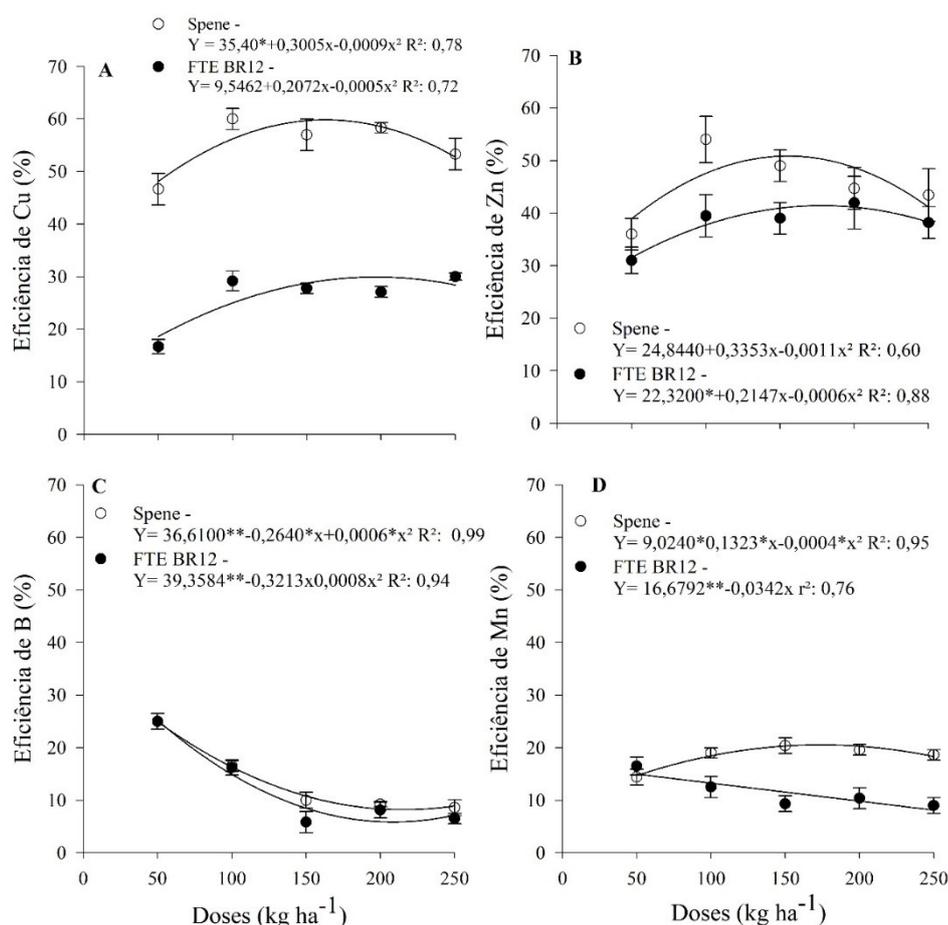


Figura 2. Eficiência da disponibilidade de cobre (A), zinco (B), boro (C) e manganês (D) em função das doses de FTE BR12 e Spene® (0; 50; 100; 150; 200; 250 kg ha⁻¹).

Figure 2. Efficiency of copper (A), zinc (B), boron (C) and manganese (D) availability as a function of FTE BR12 and Spene® doses (0, 50, 100, 150, 200, 250 kg ha⁻¹).

A fonte Spene® obteve as maiores eficiências para o Cu, Zn, B e Mn em comparação com a fonte FTE BR12. As doses que proporcionaram essa maior eficiência para a fonte Spene® foi 163; 166; 50 e 165 kg ha⁻¹ para Cu, Zn, B e Mn, respectivamente. Enquanto que na fonte FTE BR12 as doses foram: 196; 190; 50 e 50 kg ha⁻¹ para Cu, Zn, B e Mn, respectivamente (Figura 2). É importante destacar também que a aplicação de 250 kg ha⁻¹, dose de maior disponibilidade dos micronutrientes (Figura 1), obteve redução significativa, em ambas as fontes, na eficiência agrônômica para Cu, Zn, B e Mn, em especial para o B (Figura 2), ou seja,

levando-se em conta a dose aplicada, as concentrações de cada micronutriente nas fontes e os teores disponível no solo, ambas as fontes reduziram sua eficiência.

A fonte Spene® na dose de 163 e 166 kg ha⁻¹ obteve eficiência de 60 e 50% na disponibilidade de Cu e Zn no solo, para a fonte FTE BR12 na dose de 196 e 190 kg ha⁻¹ obteve eficiência bem menor, cerca de 31 e 41% na disponibilidade de Cu e Zn ao solo. Em relação ao B para ambas as fontes e Mn apenas para a fonte FTE BR12 observa-se redução expressiva da eficiência com o aumento da dose aplicada a partir de 50 kg ha⁻¹, nesta dose ambas as fontes obteve a mesma eficiência de 25% para o B e 15% para Mn com a fonte FTE BR12. Por fim, a fonte Spene® na dose de 165 kg ha⁻¹ obteve eficiência de 20% na disponibilidade de Mn (Figura 2).

Comparando as duas fontes, na eficiência máxima encontrada para micronutriente, observa-se que o Spene® foi superior 29, 11 e 5% para Cu, Zn e Mn em relação a fonte FTE BR12, não houve diferença na eficiência do B para as fontes avaliadas. Os melhores resultados encontrados para a fonte Spene® e devido principalmente à sua classificação como óxi-sulfato, pois no seu processo produtivo e realizado através da acidulação parcial dos óxidos com ácido sulfúrico, de tal forma que o produto final apresente micronutrientes nas formas de óxido e sulfato, que por sua vez se torna mais solúvel após a aplicação no solo.

Vitti et al. (2005) explica que os óxi-sulfatos são bastante utilizados na agricultura visando o fornecimento de micronutriente via solo, uma vez que apresenta solubilidade intermediária entre os óxidos e os sulfatos e dessa forma possibilita maior disponibilidade e maior eficiência do que fontes de micronutrientes constituídas por óxidos, contribuindo com os resultados encontrados neste trabalho.

CONCLUSÃO

A fonte Spene®, classificada como óxi-sulfatos, apresentou a maior disponibilidade de Cu, Zn, B e Mn em relação a fonte FTE BR12, classificada como óxidos, após 30 dias de condução do experimento.

A eficiência agronômica de Cu, Zn e Mn adquirida com o uso da fonte Spene® após a aplicação foi superior em comparação com a fonte FTE BR12.

Spene® e FTE BR12 apresentaram baixa disponibilidade e baixa eficiência agronômica para B e Mn no solo e dessa forma deve ser complementada com outras práticas de adubação via solo ou foliar.

A utilização da fonte Spene® como fonte de micronutrientes em solos do cerrado pode se apresentar como uma alternativa promissora devido a sua elevada concentração de Cu, Zn, B e Mn em sua composição, bem como a sua maior solubilidade em água em relação fonte FTE BR12.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Os autores DPMTN, FSR e RCL participaram na condução e avaliação do experimento. Já os autores AJGF, EAR e RRS participaram da escrita e revisão final do manuscrito.

CONFLITO DE INTERESSE

Os autores declararam que não há conflito de interesse.

FINANCIAMENTO

Os autores informaram que não receberam suporte financeiro para o desenvolvimento da pesquisa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDA. Associação Nacional para Difusão de Adubos. (2017). Principais indicadores do setor de fertilizantes. Disponível em: <<http://anda.org.br/index.php?mpg=03.00.00&ver=por>>. Acessado em: 07 de junho 2017.
- Carmo, D.L., Nannetti, D.C., Lacerda, T.M., Nannetti, A.N., & Santo, D.J.E. (2012). Micronutrientes em solo e folha de cafeeiro sob sistema agroflorestal no sul de Minas Gerais. *Coffee Science*, 7(1), 76-83. <https://doi.org/10.1590/s0100-06832011000300033>
- Carvalho, E.R., Oliveira, J.A., Caldeira, & C.M. (2014). Qualidade fisiológica de sementes de soja convencional e transgênica RR produzidas sob aplicação foliar de manganês. *Bragantia*, 73(3), 219-228. <https://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0096>.
- Couto Junior, P.A., Silva, A.A., Lana, & R.M.Q. (2013). Aplicação de diferentes doses e adubação de micronutrientes via solo na cultura do feijoeiro. *Bioscience Journal*, 29(1), 8-14.
- EMBRAPA (2013). Centro nacional de pesquisa em solo. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. Brasília: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 353p. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2002000400009>
- EMBRAPA (1997). Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análises de solo. Rio de Janeiro: Embrapa. 2. ed. [https://doi.org/10.17138/tgft\(1\)121-122](https://doi.org/10.17138/tgft(1)121-122)
- Ferreira, D.F. (2011). Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, 35(6), 1039-1042. <https://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>
- Godoy, L.J.G., Bôas, R.L.V., Yanagiwara, R.S., Backes, C., & Lima, C.P. (2013). Concentração foliar de manganês e zinco em laranjeiras adubadas com óxidos e carbonatos via foliar. *Revista Ciência Agronômica*. 44 (3). <https://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902013000300004>
- Goldberg, S., & Suarez, D.L. (2012). Role of organic matter on boron adsorption-desorption hysteresis of soils. *Soil Science*, 177(9), 417-423. <https://dx.doi.org/10.1097/SS.0b013e318256bc0c>
- Haridasan, M. (2008). Nutritional adaptations of native plants of the Cerrado biome in acid soils. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 20(3), 183-195. <https://dx.doi.org/10.1590/S1677-04202008000300003>
- Korndörfer, G.H., Lara-Cabezas, W.A., & Horowitz, N (1999). Eficiência agronômica de fosfatos naturais reativos na cultura do milho. *Scientia agrícola*, 56(2), 391-396, 1999. <https://dx.doi.org/10.1590/S0103-90161999000200019>

- Lacerda, J.J.J., Lopes, L.O., Rambo, T.P., Marafon, G., Silva, A.O., & Lira, D.N.S (2017). Soybean Yield Responses to Micronutrient Fertilizers. In: KASAI, M. Soybean, The Basis of Yield, Biomass and Productivity. 1 ed. p. 600. <https://doi.org/10.5772/67157>
- Lopes, A.S. (1999). Micronutrientes: filosofia de aplicação e eficiência agrônômica. São Paulo: Associação Nacional para difusão de adubos, 70 p.
- Marques, J.J., Schulze, D.G., Curi, N., & Mertzman, A.S. (2004). Trace element geochemistry in Brazilian Cerrado soils. *Geoderma*, 121(2), 31-43. <https://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2003.10.003>
- Mascarenhas, H.A.A., Esteves, J.A.S., Wutke, E.B., & Gallo, P.B. (2014). Micronutrientes em soja no estado de São Paulo. *Nucleus*, 11(1), 323-343, 2014. <https://dx.doi.org/10.3738/1982.2278.1102>
- Radambrasil (1981). Programas de Integração Nacional: Levantamento de Recursos Naturais. Folha SD22, 25, p397.
- Reis, C.J., Peres, S.R., Biscaro, G.A., Kulczynski, S.M., & Fenandes, D.S. (2008). Doses e modos de aplicação de boro na produção e qualidade fisiológica de sementes de feijão em solo de cerrado. *Revista Ceres*, 55(4), 258-264. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2007000300016>
- Ribeiro, A.C., Guimarães, P.T.G., & Alvarez, V.H. (1999). Comissão de fertilidade do solo do estado de minas gerais. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em minas gerais - 5ª Aproximação. Viçosa, MG, p.359. <https://doi.org/10.14295/2596-2221.xviceel.2018.262>
- Silva, A.A., Junior, P.A.C., Lana, A.M.Q., & Lana, R.M.Q. (2014). Teores de micronutrientes no solo e foliar com aplicação de fontes quelatadas e sulfatadas em feijão. *Engenharia Agrícola*, 34(1), p.28-37. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162014000100004>
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). Plant Physiology. Massachusetts: Sinauer Associates, 5 ed. p.782.
- Taiz, L., Zeiger, E., & Santarém, E.R. (2004). Fisiologia vegetal. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, p.719.
- Timac Agro (2019). Fertilizantes Sólidos – Micronutrientes. Disponível em: <<http://www.timacagro.com.br/tecnologias/fertilizantes-solidos/>>. Acessado em: 06 de novembro de 2018.
- Vitti, G.C., Queiroz, F.E.C., & Quintino, T.A. (2005). Micronutrientes na cana-de-açúcar: mitos e realidades. Departamento de Solos e Nutrição de Plantas–ESALQ/USP–Piracicaba–SP. [https://doi.org/10.17138/tgft\(1\)71-73](https://doi.org/10.17138/tgft(1)71-73)
- Zanão Júnior, L.A., Lana, R.M.Q., & Guimarães, E.C. (2007). Variabilidade espacial do pH, teores de matéria orgânica e micronutrientes em profundidades de amostragem num Latossolo Vermelho sob semeadura direta. *Ciência Rural*, 37(4), 1000-1007. <https://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782007000400013>