

MANEJO DA ADUBAÇÃO COM ENXOFRE EM SOLOS ARENOSOS

Ed. 01 | DEZ/2022

AUTORES

Evandro A. Minato

Eng. Agr. Dr. Pesquisador e Consultor na
Raízes Consultoria.
evandrominato@raizesconsultoria.com.br

Leandro Zancanaro

Eng. Agr. Me. Pesquisador e Consultor
Raízes Consultoria
leandrozancanaro@raizesconsultoria.com.br

Táimon Semler

Eng. Agr. Pesquisador e Consultor na
Raízes Consultoria.
taimonsemler@raizesconsultoria.com.br

Rodrigo K. Hammerschmitt

Eng. Agr. Me. Pesquisador em Solos e
Coordenador de Pesquisa do IAGRO-MT.
rodrigo.knevez@iagromt.org.br

Daniela Basso Facco

Eng. Agr. Ma. Pesquisadora em Solos do
IAGRO-MT
daniela.facco@iagromt.org.br

Franklin W. V. de Oliveira

Eng. Agr. Especialista em Proteção de
Plantas. Coordenador de Projetos de
Defesa Agrícola da Aprosoja-MT.
franklin.oliveira@aprosoja.com.br

Gabriel Augusto da Silva

Eng. Agr. Analista de Projetos Defesa
Agrícola da Aprosoja-MT.
gabriel.silva@aprosoja.com.br

Jerusa Rech

Eng. Agr. Dra. Gerente de Defesa Agrícola
da Aprosoja-MT.
jerusa.rech@aprosoja.com.br

Karoline C. Barros

Eng. Agr. Ma. Analista de Projetos Defesa
Agrícola da Aprosoja-MT.
karoline.barros@aprosoja.com.br

ENXOFRE, O NUTRIENTE ESQUECIDO!

Os primeiros trabalhos que deram indicativos de que a quantidade de enxofre (S) presente nos solos brasileiros era baixa surgiram no final da década de 40 e são devidas a Mohr (1948) e Malavolta (1949). Entretanto, foi em 1957 a publicação do primeiro trabalho que deu indícios da importância deste nutriente para as plantas cultivadas em solos do bioma Cerrado (McClung et al., 1957). De lá para cá, estudos e trabalhos foram conduzidos, novas descobertas foram realizadas e a agricultura que antes no Cerrado era incipiente hoje se tornou técnica e modernizada, referência mundial quanto a produção de grãos, fibra e proteína animal. Apesar dessa evolução ainda existem algumas dúvidas acerca do manejo de S e adubação nos sistemas de produção.

Embora a descoberta da importância do S no Cerrado seja antiga, por um longo período o nutriente passou despercebido, pois, as quantidades exigidas pelas plantas eram fornecidas acidentalmente por meio do uso de adubos simples ou de misturas contendo enxofre. Além disso, a produtividade das culturas era menor e consequentemente a exigência nutricional pela planta também era baixa.

Entretanto, nas últimas décadas, com o aumento da demanda por fertilizantes concentrados visando otimizar os custos com frete e as práticas operacionais houve aumento na utilização de adubos simples e de fórmulas de adubação carentes ou isentas em S. Alia-do a isso, houve intensificação dos sistemas de produção, aumento da produção de grãos e fibra e expansão de cultivo sobre áreas mais frágeis, como as de solos de textura arenosa/média que têm demonstrado cada vez mais a importância do S para a produção vegetal.

Nos últimos anos foram lançadas no mercado tecnologias voltadas a adubação com S, necessitando realizar pesquisas agrônômicas que avaliem a resposta das culturas ao S com relação as diferentes tecnologias disponíveis, para nortear as recomendações de adubação, principalmente para cultivo em solos de textura arenosa.

ENXOFRE NA PLANTA

O S na planta desempenha funções essenciais no desenvolvimento, pois está envolvido na formação de aminoácidos e proteínas, em processos fisiológicos como fotossíntese, fixação biológica de nitrogênio, controle hormonal e mecanismos de defesa.

O S é absorvido pelas plantas na forma de sulfato (SO_4^{2-}) e é considerado um nutriente de baixa mobilidade, portanto, os sintomas de deficiência de S ocorrem inicialmente nas partes mais novas da planta. Na cultura da soja, a deficiência de S é caracterizada pela presença de folhas novas com coloração verde-clara, incluindo as nervuras, podendo evoluir em situações mais severas para folhas amareladas (Figura 1).

É importante destacar que a deficiência visual de S é uma manifestação morfológica das alterações fisiológicas ocorridas no interior da planta, assim, quando os sintomas visuais de deficiência são observados, já ocorreram perdas significativas na produtividade (Vitti et al., 2015). Como nem sempre a deficiência é observada visualmente a campo, é recomendado o monitoramento dos talhões via diagnose foliar (análise de tecido vegetal) para auxiliar no diagnóstico do estado nutricional da planta bem como nas recomendações de adubação.

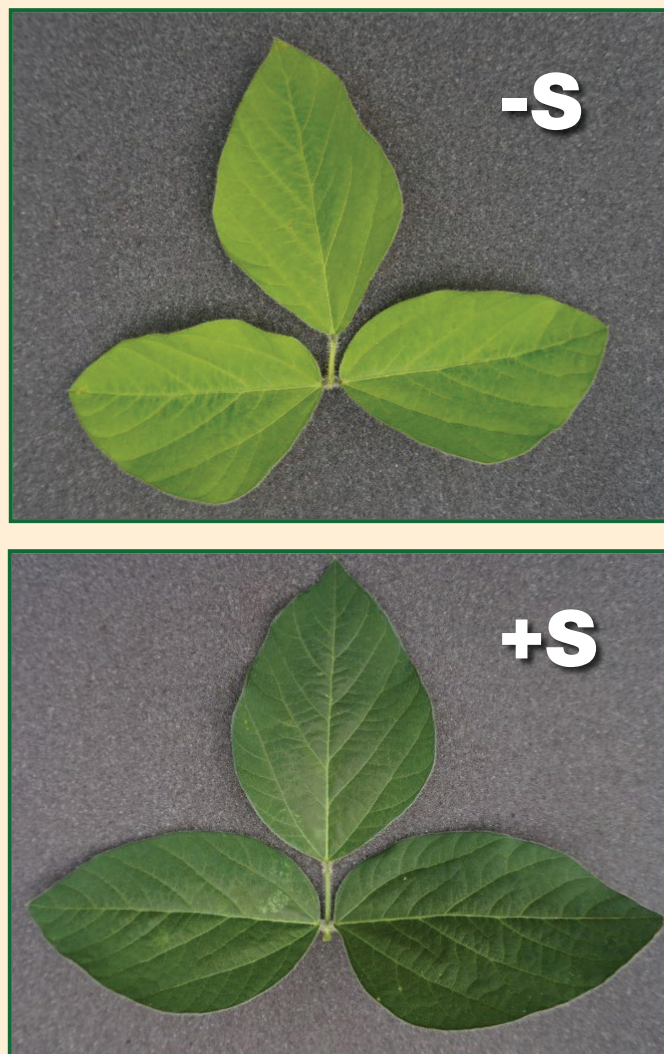


Figura 1. Folha superior com sintomas severos de deficiência de enxofre e folha inferior bem nutrida de S. **Foto:** Evandro Minato.

ENXOFRE NO SOLO

A maior proporção de S no solo encontra-se na matéria orgânica (cerca de 90 a 95%) (Sutar et al., 2017), sendo sua disponibilidade controlada pela decomposição de resíduos culturais, matéria orgânica, bem como reações de oxidação e redução que são controladas por microrganismos do solo. Para fins práticos, os principais fatores que interferem na disponibilidade do S oriundo da matéria orgânica do solo (MOS) para a planta são a textura e a própria MOS. De modo geral, quanto mais arenoso for o solo e mais pobre em MOS, menor será a sua capacidade de fornecimento desse nutriente às plantas, e consequentemente, mais intensa e frequente são as respostas à adubação com S.

No que diz respeito a parte inorgânica do S no solo, essa é constituída principalmente pelo sulfato (SO_4^{2-}), que está na solução do solo, adsorvido as partículas de argila e em complexos organometálicos. Devido à alta mobilidade do SO_4^{2-} este é encontrado em maior concentração nas camadas mais profundas do solo (20 a 40 cm), podendo, de acordo com as características do solo, regime de chuvas e sistema de manejo, ser perdido por lixiviação. A parte inorgânica do S no solo é determinada pela análise da rotina, que embora seja uma importante ferramenta para o diagnóstico e monitoramento dos teores no solo, em algumas situações tem apresentado baixa repetibilidade e confiabilidade analítica por parte dos laboratórios.

DESAFIOS DO MANEJO DE ENXOFRE EM SOLOS ARENOSOS

Como já mencionado, a forma absorvida de S pelas plantas é na forma de sulfato (SO_4^{2-}), sendo sua disponibilidade afetada pela dinâmica do S contido na fração orgânica do solo. Por este motivo, deve-se destacar que nem sempre o teor de S da análise de solo, quando utilizado de forma isolada, apresenta correlação com a produtividade das culturas.

O ciclo do S se assemelha muito ao do nitrogênio, podendo o S ser perdido por lixiviação e erosão do solo, absorvido pelas plantas, imobilizado e mineralizado pelos microrganismos do solo ou ser transformado em outras formas no solo dependendo das condições ambientais (Figura 2).

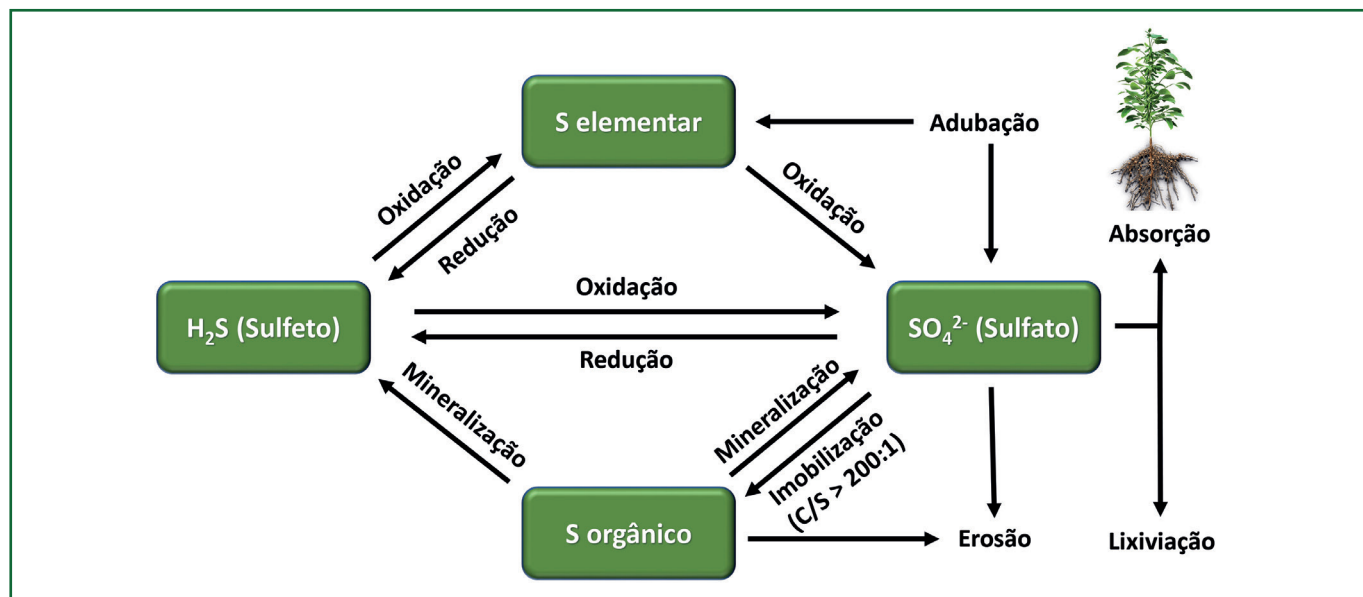


Figura 2: Ciclo simplificado do enxofre no solo e em sistemas de produção. Adaptado de Vitti et al. (2015).

De forma geral, a dinâmica entre o S orgânico em S inorgânico (sulfato) é controlada pelos processos de mineralização e imobilização, que por sua vez dependem da temperatura, umidade, disponibilidade e qualidade dos resíduos, acidez, e atividade microbiana (Alvarez et al., 2007). A relação carbono enxofre (C/S) da MOS e dos resíduos culturais é o principal responsável por este equilíbrio. Para valores de C/S menores que 200 há tendência de ocorrer liberação de sulfato (mineralização), enquanto valores maiores que 200 há imobilização de S (Vitti et al., 2015).

FONTES DE ENXOFRE PARA AS ESTRATÉGIAS DE ADUBAÇÃO

Os principais fertilizantes contendo S na sua composição são o superfosfato simples (SSP), gesso agrícola, sulfato de amônio, S elementar e as matérias primas enriquecidas com S (MAP+S). Cada uma dessas fontes possui características distintas e, conseqüentemente, se comporta de forma diferente no solo e sistema de produção.

O gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) é amplamente conhecido na agricultura sendo obtido como um subproduto da indústria dos fertilizantes fosfatados, ou encontrado em sua forma natural como mineral Gipsita. No Cerrado pode ser utilizado para amenizar os problemas

de acidez, bem como fornecer S para o sistema. Vale destacar que como esta fonte está na forma de sulfato, após aplicado na superfície do solo, o gesso se dissocia liberando íon SO_4^{2-} que pode migrar para camadas mais profundas do solo acompanhando o fluxo de água (Churka Blum et al., 2013).

O SSP é obtido pela mistura de ácido sulfúrico (H_2SO_4) e fosfatos naturais (apatita) gerando um fertilizante que possui em sua composição aproximadamente 19% de P_2O_5 e 11% de S. A forma de S desta fonte está na forma de sulfato sendo o SSP em essência uma mistura de fosfato monocalcico com gesso (Plategher e Ribeiro,

2016). Desta forma, a única diferença do S do gesso e do SSP é a granulometria, estando o S do SSP na forma granulada podendo apresentar menor lixiviação de S em relação ao gesso.

O sulfato de amônio, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ou SAM também é amplamente conhecido na agricultura e é obtido basicamente por meio da mistura da amônia e do ácido sulfúrico, possuindo em sua composição 20% de nitrogênio (N) na forma amoniacal e entre 22 e 24% de S sulfato. É uma fonte importante no fornecimento de N e S para o sistema, pois, ambos estão na forma prontamente disponível (amônio e sulfato) (Ferrari et al., 2015).

O enxofre elementar pastilhado se tornou popular nos últimos anos e é obtido principalmente em reservas naturais ou como um subproduto da indústria de refinarias e da produção de gás natural. Para facilitar sua aplicação a campo, o S é pastilhado e incorporado a ele argilas expansivas que dispersam quando em contato com a água. A dispersão da pastilha de S é de extrema importância já que o S elementar não é absorvido pelas plantas necessitando haver a redução do tamanho de partícula para que os microrganismos do solo possam oxidar o S transformando-o em SO_4^{2-} , sendo possível ser absorvido pelas plantas. Uma regra geral para o uso eficiente do S elementar é que 100% da massa de partícula deve apresentar diâmetro inferior a 1,0 mm e pelo menos 50%, diâmetro inferior a 0,15 mm (Embrapa, 2004). Quanto ao processo de oxidação do S elementar no solo,

este depende da ação de microrganismos e de fatores como, sistema de manejo, MOS, umidade e temperatura (Horowitz e Meurer, 2007; Vitti et al., 2015).

Por fim, nos últimos anos tem-se observado aumento na utilização de fertilizantes fosfatados como o fosfato monoamônio (MAP) enriquecido com S em diferentes proporções de S elementar e sulfato, que podem variar de 25% a 75%. Tal característica permite os benefícios de uma fração de S com disponibilidade imediata e outra com liberação gradual, aliada a fontes de fósforo concentrada, que proporcionam ganhos operacionais para o produtor. Entretanto, dependendo da fonte utilizada e dose de fósforo, pode haver necessidade de complementação de S com outras fontes para atender a demanda de S do sistema. (Broch et al., 2011; Vitti et al., 2015).

Devido as variações atreladas a complexidade da dinâmica do S no solo e sua dificuldade na diagnose precisa de deficiência, verificou-se a importância de pesquisas com pretensão de analisar calibrações da resposta agrônômica de diferentes fontes e doses de S para a assertividade da adubação sulfatada. Por isso, a Aprosoja MT iniciou na safra de soja 2016/17 um experimento de longa duração em solos de textura arenosa/média para nortear as recomendações do uso desse nutriente. A seguir serão apresentados e discutidos os resultados gerados deste experimento no Centro Tecnológico Aprosoja MT (CTECNO).

CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi instalado em um Latossolo Amarelo com 19% de argila, localizado no município de Campo Novo do Parecis – MT, no CTECNO. A área experimental tem o histórico de cultivo a mais de 20 anos, com o cultivo de soja e culturas de cobertura, principalmente o milho. No ano de 2016/17 foi realizada na área amostragem de solo para caracterização das características químicas e físicas do solo (Tabela 1).

Tabela 1. Características químicas do solo da área experimental antes da instalação do experimento. CTECNO/Campo Novo do Parecis-MT, safra 2016/17.

Prof. (cm)	pH	P	K	S	Ca	Mg	Al	H+Al	V	MO
	CaCl_2	-----	mg dm^{-3}	-----	-----	cmol _c dm^{-3}	-----	-----	%	g dm^{-3}
0-20	5,5	31,5	60,3	6,4	2,2	0,8	0,0	2,2	58,9	20
20-40	4,7	7,1	28,6	8,1	0,8	0,4	0,2	2,1	37,7	10
40-60	4,5	1,3	24,3	10,5	0,5	0,2	0,4	1,9	28,6	5

Extratores: P e K (Mehlich-1); S (fosfato de cálcio); Ca, Mg e Al (cloreto de potássio – 1 mol/L⁻¹); H+Al (acetato de cálcio a pH 7); M.O. (dicromato de potássio).

Os tratamentos consistiram na aplicação anual de diferentes doses de S (0, 15, 30 e 45 kg/ha) fornecidas via superfosfato simples (11% de S), S elementar pastilhado com bentonita (90% de S), gesso agrícola (17% de S) e formulado 13-33-00 (15% de S). É importante destacar que a adubação com fósforo (P), N e potássio (K) foram nivelados para todos os tratamentos via superfosfato triplo (SFT), nitrato de amônio (NA) e cloreto de potássio (KCl) para que a única fonte de variação fosse o S. Além disso, a aplicação de todos os fertilizantes foi realizada de forma manual (a lanço) logo após a semeadura.

O cultivo de soja foi conduzido em sucessão com plantas de cobertura (braquiária ou crotalária, conforme o ano agrícola), com adubação e aplicação dos fertilizantes apenas na cultura da soja. Ao longo de seis cultivos de soja (2016/17 a 2021/22) foi realizado a análise foliar no estágio R2 (florescimento pleno) e determinado a produtividade de grãos da soja, os principais resultados serão discutidos abaixo.

PRINCIPAIS RESULTADOS DA ADUBAÇÃO COM ENXOFRE EM SOLOS COM TEXTURA ARENOSA/MÉDIA

Desde o primeiro ano da condução deste trabalho houve resposta a aplicação de S. No primeiro ano de condução, houve resposta linear a aplicação de S até a maior dose avaliada. Considerando a equação ajustada, observa-se que a adubação com S no primeiro ano de trabalho proporcionou aumento de um sc/ha de soja para cada 10 kg de S/ha até a dose de 45 kg de S/ha (Figura 3). Estes dados demonstram que em solos com textura arenosa/média, mesmo com teores de S no solo classificados como médio (5 a 9 mg/dm³ na camada 0 a 40 cm (Embrapa, 2020), existe probabilidade de resposta produtiva da soja quando adubado com S.

Não ocorreu diferença na produtividade entre as fontes utilizadas, demonstrando que na média das doses utilizadas todas tiveram o mesmo comportamento e foram eficientes em fornecer S de forma adequada para a cultura da soja. Entretanto, tanto na safra 2016/17 como na safra 2017/18 observou-se a campo que nas doses mais baixas (15 kg de S/ha) e principalmente para a fonte S elementar as folhas apresentaram aspecto amarelado (Figura 4). Isso demonstra

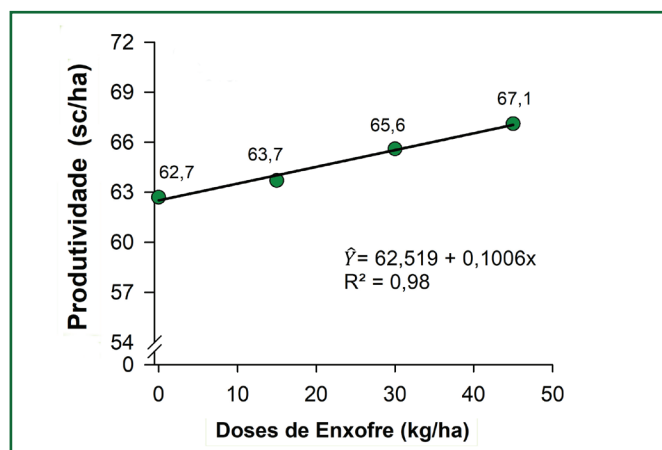


Figura 3. Produtividade de soja em função de doses de enxofre em um solo com 19% de argila, no primeiro ano de condução do trabalho. CTECNO/Campo Novo do Parecis-MT, safra 2016/17.

que em ambientes com solos de textura arenosa, baixos níveis de MOS e baixo histórico de aplicação de S, a utilização de doses pequenas de S, principalmente na forma elementar, tende a apresentar maior probabilidade de deficiência de S nos estádios iniciais do desenvolvimento das culturas, pois, a demanda de S pela planta pode não acompanhar a oxidação do S elementar em doses baixas.

MES (45)	MES (30)	MES (15)	Gesso (45)	Gesso (30)	Gesso (15)	Element. (45)	Element. (30)	Controle	SSP (15)	SSP (30)	SSP (45)	Element. (15)
Element. (15)	Controle	MES (30)	SSP (15)	Element. (30)	MES (15)	SSP (30)	Gesso (45)	SSP (45)	Gesso (15)	MES (45)	Gesso (30)	Element. (45)
Gesso (15)	Element. (30)	Gesso (45)	Element. (15)	MES (45)	SSP (45)	SSP (15)	MES (30)	Gesso (30)	Element. (45)	MES (15)	SSP (30)	Controle
Gesso (45)	SSP (45)	Gesso (30)	SSP (30)	Controle	MES (15)	Element. (45)	Element. (30)	Gesso (15)	Element. (15)	MES (45)	SSP (15)	MES (30)

Figura 4. Visão aérea do trabalho de pesquisa avaliando doses e fontes de enxofre um solo com 19% de argila. CTECNO/Campo Novodo do Parecis-MT. (Foto 20/12/2017). Doses: 0 (controle), 15, 30 e 45 kg/ha de S. Fontes: gesso, superfosfato simples (SSP), S elementar pastilhado 90% e formulado 13-33-00+15%S (MES).

Nas demais safras avaliadas as respostas não foram lineares, demonstrando efeito residual da adubação anterior de S, mesmo em solos com baixos teores de argila, conforme demonstram as Figuras 5 a 9. Tais resultados demonstram a importância de considerar o histórico de aporte desse nutriente e o sistema de produção nas estratégias de adubação com S. Além disso, a utilização de plantas de cobertura é importante no sistema de produção, pois contribuem no incremento de MOS, estruturação do solo, retenção de umi-

dade, aumento da porosidade, bem como, na ciclagem de nutrientes como o S. A ciclagem de nutrientes pelas plantas de cobertura é de grande importância principalmente para o N, K e S que são influenciados por vários fatores e possuem alta mobilidade no perfil do solo. Assim, as raízes das plantas de cobertura exploram as camadas profundas do solo, onde são encontrados os maiores teores de S (SO_4^{2-}), fazendo com que o S seja reciclado para camadas superficiais do solo, ficando disponível para a cultura da soja.

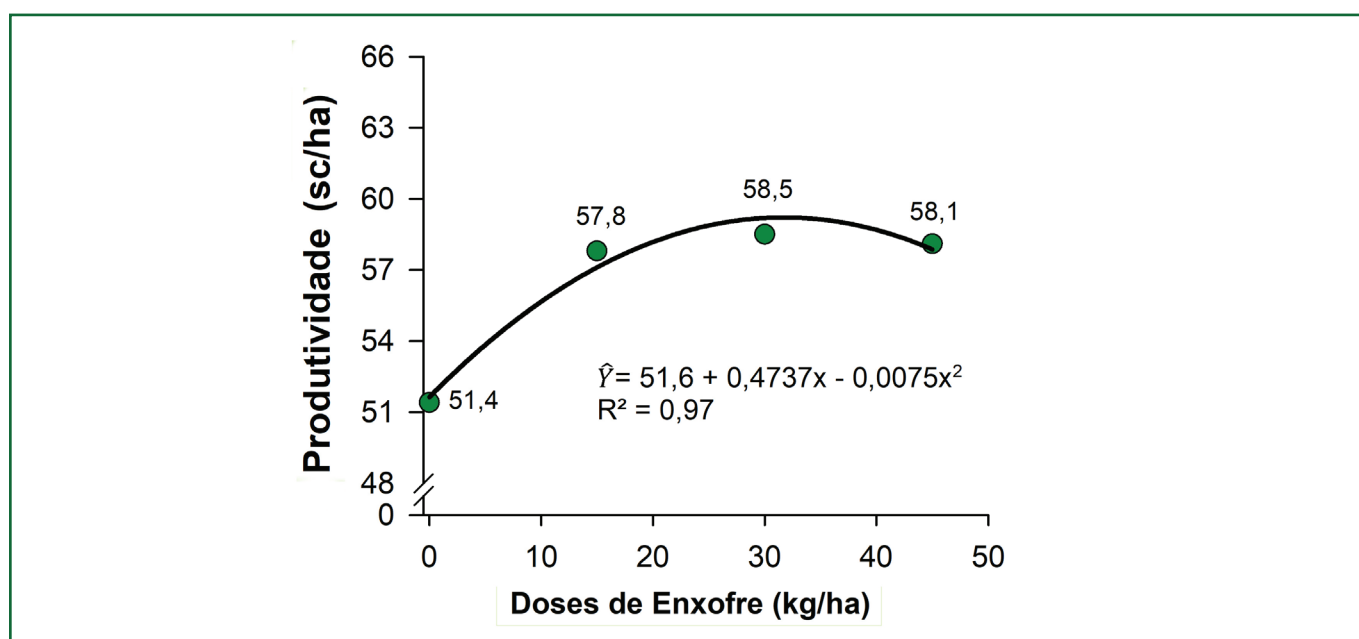


Figura 5. Produtividade de soja na safra 2017/18 em função de doses de enxofre em um solo com 19% de argila, no segundo ano de condução do trabalho. CTECNO/Campo Novo do Parecis-MT.

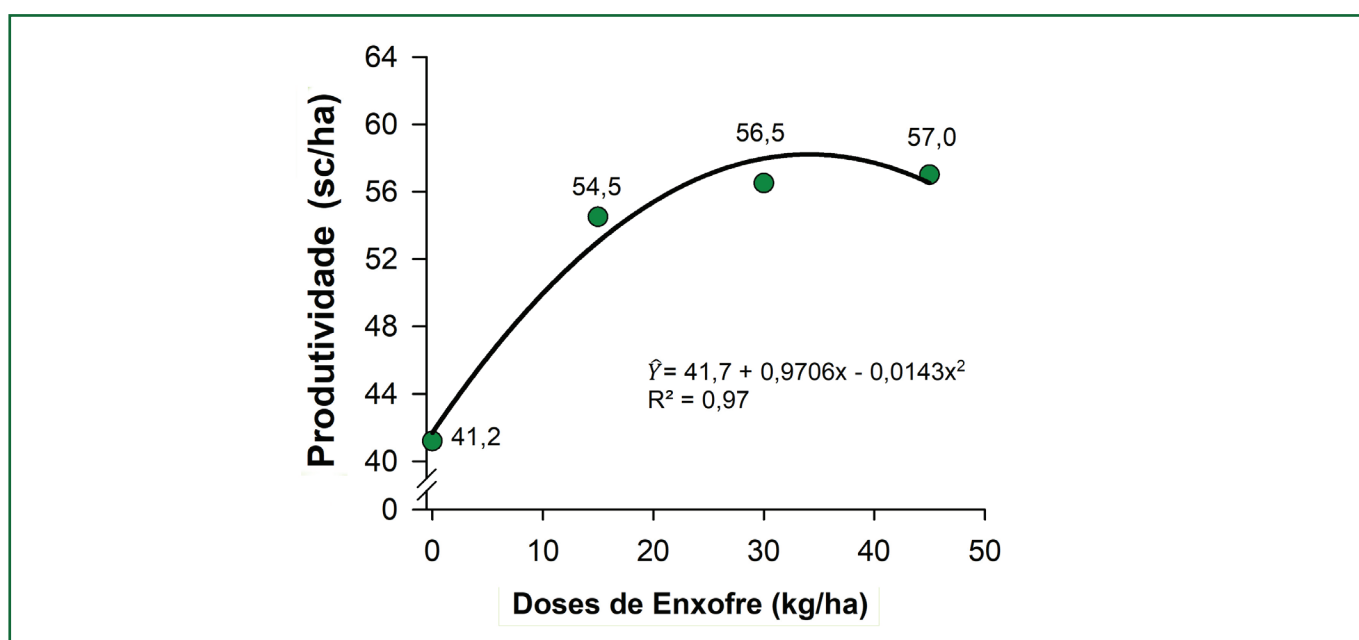


Figura 6. Produtividade de soja safra 2018/19 em função de doses de enxofre em um solo com 19% de argila, no terceiro ano de condução do trabalho. CTECNO/Campo Novo do Parecis-MT.

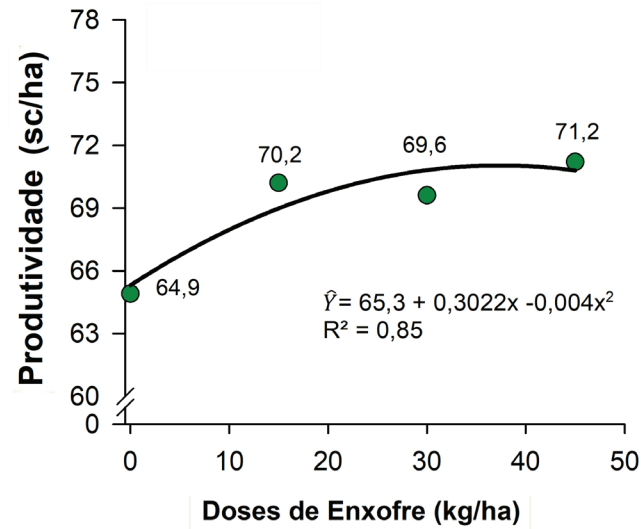


Figura 7. Produtividade de soja safra 2019/20 em função de doses de enxofre em um solo com 19% de argila, no quarto ano de condução do trabalho. CTECNO/Campo Novo do Parecis-MT.

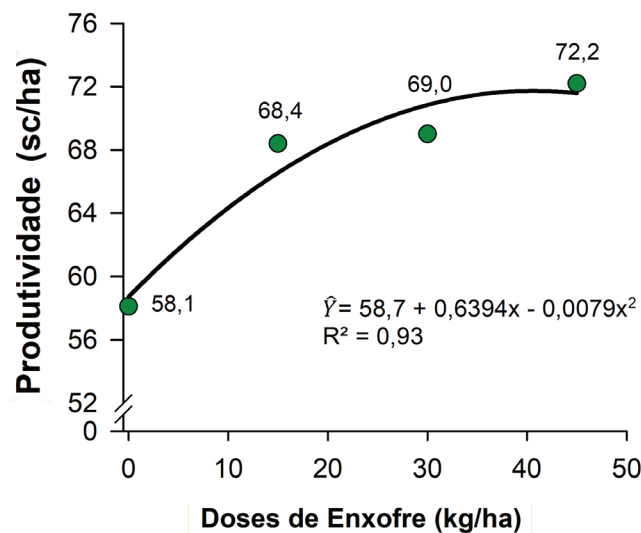


Figura 8. Produtividade de soja safra 2020/21 em função de doses de enxofre em um solo com 19% de argila, no quinto ano de condução do trabalho. CTECNO/Campo Novo do Parecis-MT.

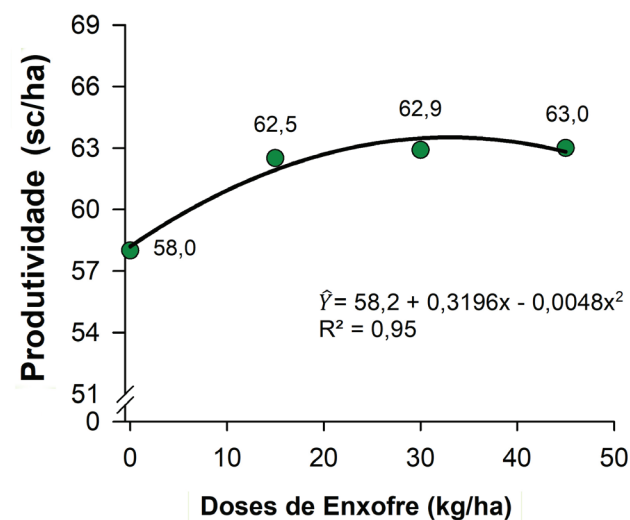


Figura 9. Produtividade de soja safra 2021/22 em função de doses de enxofre em um solo com 19% de argila, no sexto ano de condução do trabalho. CTECNO/Campo Novo do Parecis-MT.

Considerando a produtividade acumulada dos seis cultivos de soja conduzidos até o momento, é possível observar que a máxima eficiência técnica foi obtida com 36,7 kg de S/ha (Figura 10). Isso significa que a demanda de S via adubação em solos com baixos teores de argila é maior que a extração da cultura, que segundo dados da literatura é de 15,1 kg de S/ha para uma produtividade equivalente a 60 sc/ha (Embrapa, 2020).

No acumulado de seis safras a dose de máxima eficiência técnica produziu 51 sc/ha (8,5 sc/ha por cultivo, em média) a mais em relação a testemunha sem S (Figura 10). Desta forma podemos supor que em condições de cultivo semelhantes ao presente trabalho, e considerando uma produtividade média próxima de 60 sc/ha, o produtor que adota adubação com S ganha uma safra a mais a cada sete cultivos em relação a não utilização de S. Essas informações demonstram o quão limitante é o S, bem como a importância da adubação com este nutriente para maximizar as produtividades e a rentabilidade da área em solos de textura arenosa/média do Cerrado com baixos teores de MOS.

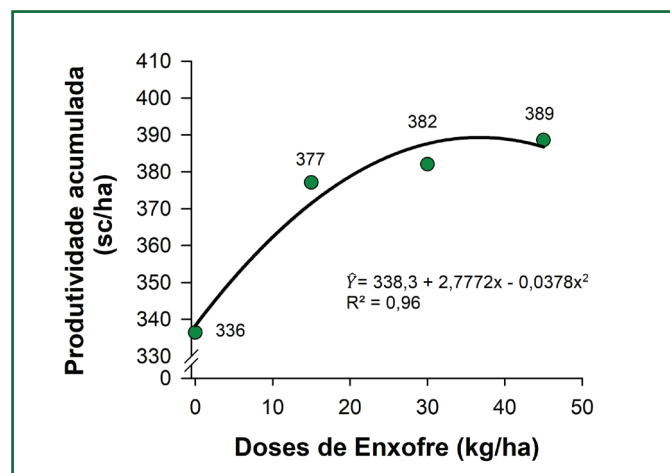


Figura 10. Produtividade acumulada de soja ao longo de 6 cultivos 2016/17 a 2021/22 em função de doses de enxofre em um solo em um solo com 19% de argila. CTECNO/Campo Novo do Parecis-MT.

Os resultados da análise foliar demonstraram que, na média de seis cultivos, houve aumento de S na folha de acordo com o aumento das doses aplicadas no solo. De modo geral, a análise foliar apresentou a mesma tendência dos dados de produtividade, demonstrando ser uma ferramenta útil no diagnóstico do estado

nutricional no que diz respeito ao S (Figura 11). Esses dados também confirmam que teores de S foliar entre 2,1 a 4 g/kg, considerados adequados segundo Embrapa (2004), são atuais e coerentes para o produtor utilizar como referência na diagnose nutricional. Da mesma forma, é possível observar que, se os teores de S na folha forem menores que 2,1 g/kg, existe maior probabilidade de resposta produtiva com utilização de S.

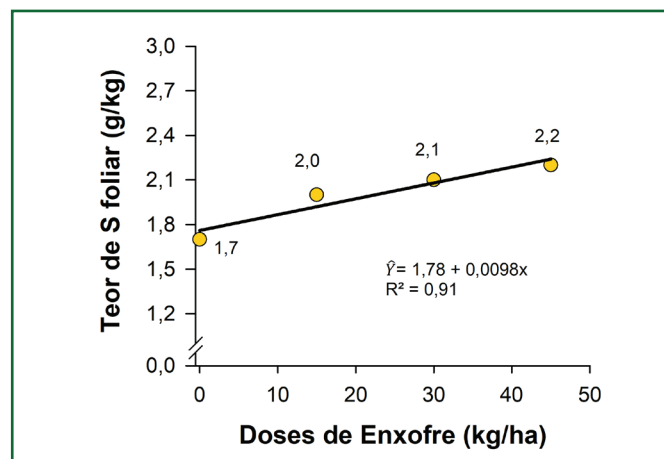


Figura 11. Teor médio de enxofre foliar (g/kg) de soja ao longo de seis cultivos (2016/17 a 2021/22) em função de doses de enxofre em um solo em um solo com 19% de argila. CTECNO/Campo Novo do Parecis-MT.

No que diz respeito as diferentes fontes de S para a cultura da soja, nenhuma apresentou diferenças estatisticamente significativas de produtividade acumulada e teor foliar nas condições estudadas, sendo apenas superiores ao tratamento sem adubação com S (Figura 12 e 13).

Em relação à particularidade das fontes, aquelas com S na forma de sulfato (SSP, gesso, sulfato de amônio etc.) fornecem o nutriente na forma prontamente disponível às plantas, mas ao mesmo tempo estão mais propensas a lixiviação no perfil do solo. Por exemplo, o gesso, se aplicado em doses baixas para atender apenas o fornecimento anual de S a cultura da soja, pode apresentar deficiências tardias em regiões que apresentam grandes volumes de chuva. Já o SSP, mesmo tendo a mesma forma de S que o gesso, por estar contido em grânulos, tem maior residual durante o ciclo das culturas. Fontes com quantidades parciais de S via sulfato e elementar tendem a equilibrar a velocidade de fornecimento do nutriente, mas devem respeitar particularidades, geralmente

atreladas à relação P/S e à capacidade de oxidação do S elementar contido no fertilizante pelos microrganismos do solo. Essa capacidade de oxidação deve receber mais relevância

quando a fonte for exclusivamente o S elementar, pois sua eficiência depende exclusivamente dos fatores: contato com o solo, tamanho das partículas e atividade microbiana.

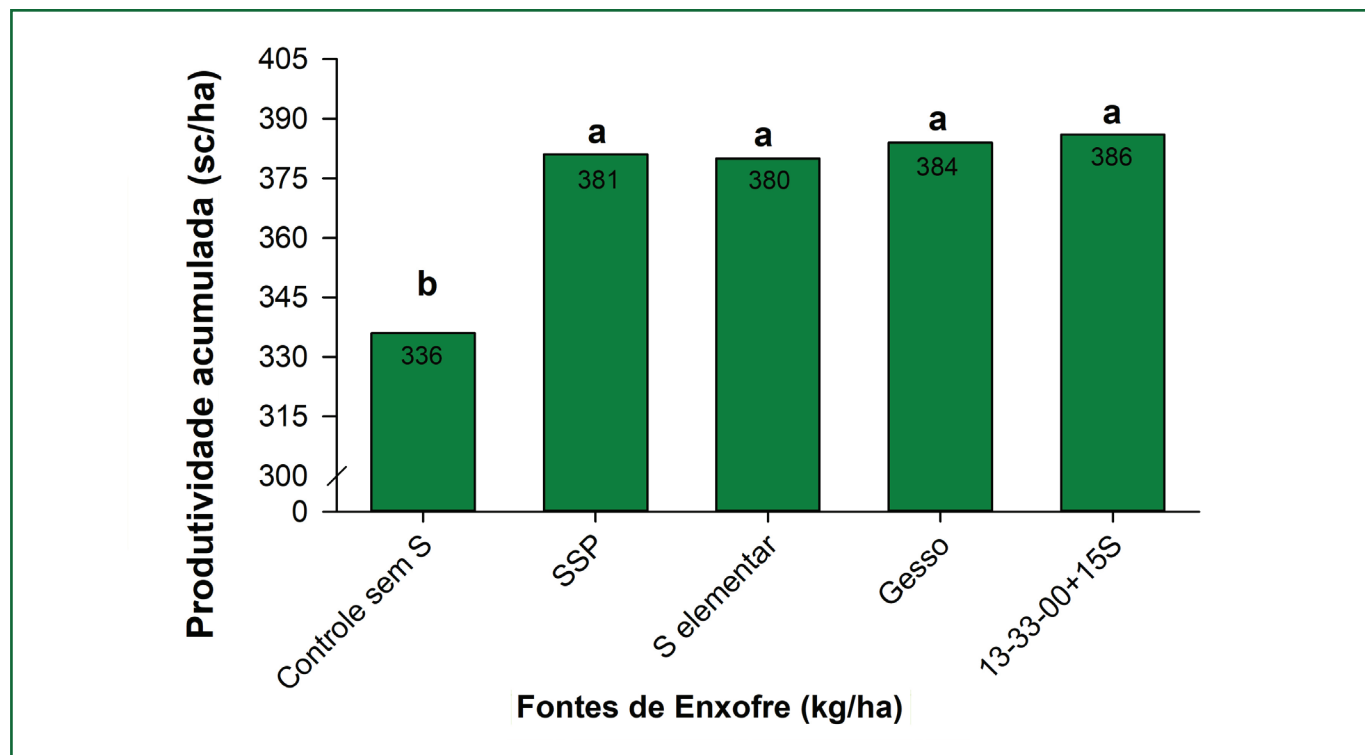


Figura 12. Produtividade acumulada de soja ao longo de seis cultivos (2016/17 a 2021/22) em função de diferentes fontes de enxofre em um solo de textura média. CTECNO/Campo Novo do Parecis-MT. Letra minúscula indica diferença entre os tratamentos fatoriais e o tratamento controle pelo teste de Dunnet a 5% de probabilidade.

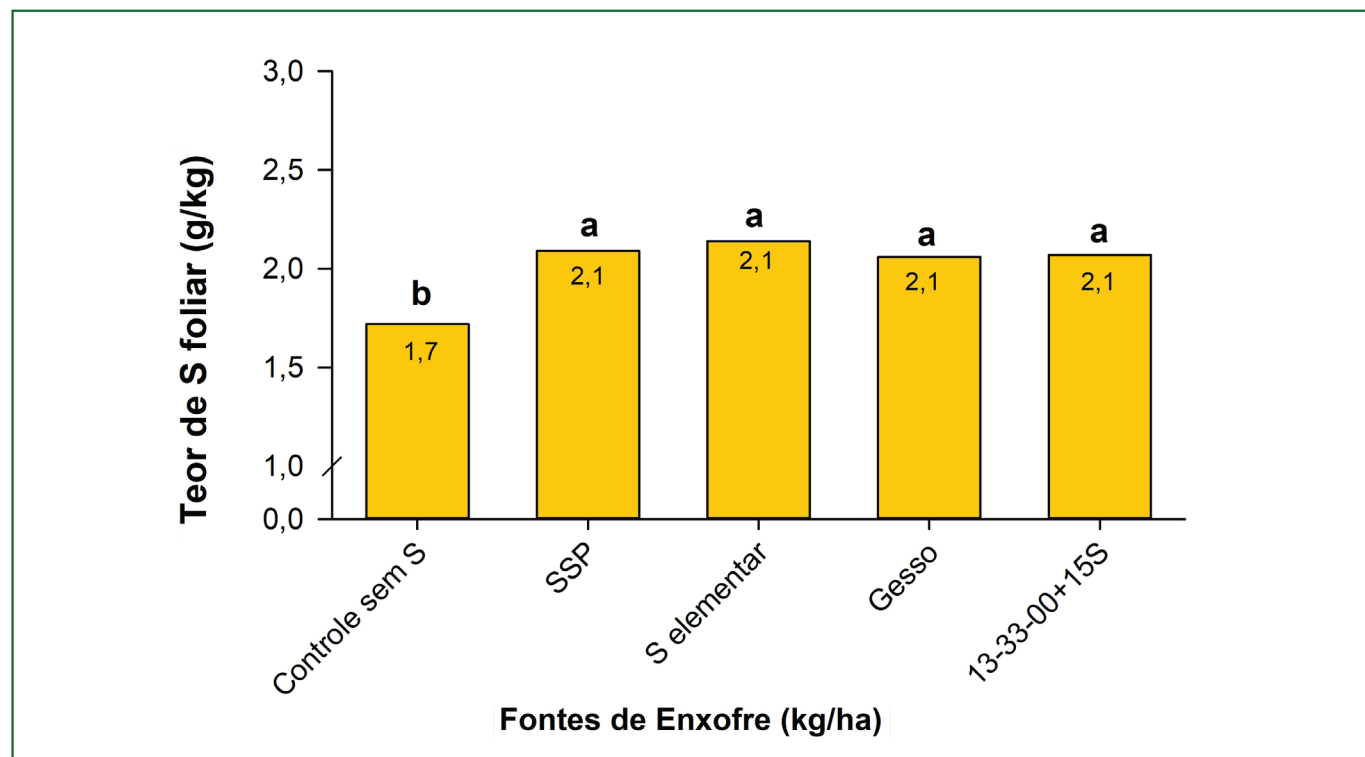


Figura 13. Teor médio de enxofre foliar (g/kg) de soja ao longo de seis cultivos (2016/17 a 2021/22) em função de diferentes fontes de enxofre em um solo de textura média. CTECNO/Campo Novo do Parecis-MT. Letra minúscula indica diferença entre os tratamentos fatoriais e o tratamento controle pelo teste de Dunnet a 5% de probabilidade.

Devido à complexidade do S elementar, este será mais detalhado quanto a suas particularidades. O S elementar geralmente é comercializado na forma pastilhada, sendo a pastilha composta por uma mistura do S elementar e argilas expansivas (bentonita). Essa fonte é facilmente aplicada a campo e apresenta boa eficiência agronômica. Porém, a disponibilização de S ocorre de forma gradual, devido à necessidade de oxidação do S elementar (S^0) para sulfato (SO_4^{2-}) para posterior ser absorvido pelas plantas. Essa oxidação ocorre de forma lenta, sendo controlada pela atividade dos microrganismos do solo. Portanto, o S na forma elementar deve ser aplicado com antecedência a semeadura das culturas. Além disso, a aplicação antecipada é fundamental para que nas primeiras chuvas a água entre em contato com a pastilha de S e possa se dispersar no solo diminuindo o tamanho das partículas. Quanto menor for o tamanho das partículas de S elementar, após a dispersão da pastilha, maior será a superfície de contato do S elementar com os microrganismos e consequentemente, maior será sua oxidação. Caso a pastilha de S elementar se disperse de forma parcial, criando apenas fragmentos muito grosseiros, trincando as pastilhas e não às esfarelando completamente em um pó fino após contato com a água da chuva, a eficiência será muito baixa. Segundo dados da literatura, produtos com baixa dispersão podem levar muitos anos para oxidação completa (se ocorrer) do S elementar (Boswell, 1997). Portanto, é importante ficar muito atento a qualidade do produto adquirido. Da mesma forma, não é recomendado a aplicação de S elementar pastilhado na linha de semeadura,

visto que tal prática pode diminuir a dispersão do material, diminuindo o contato partícula solo, consequentemente, diminuindo a taxa de oxidação do S.

Outro ponto a ser considerado na tomada de decisão para a escolha do fertilizante com S é o seu poder de acidificação do solo. Embora muitas vezes este valor seja desconsiderado, quando acumulado ao longo de vários anos reflete reflete em quantidades significativas de calcário para corrigir a acidez provocada por estes fertilizantes. Segundo dados na literatura, a quantidade de $CaCO_3$ PRNT 100% necessária para neutralizar 100 kg da acidez gerada pelo fertilizantes é de 110 kg/ha para o sulfato de amônio, 280 kg/ha para o S elementar 90%, 116 kg/ha para o MES15 (13-33-00-15S), e 0 kg/ha para o SSP e gesso (McLaughlin, 2020).

Levando em consideração as informações citadas acima, em solos arenosos e de textura média corrigidos quanto à P, é fundamental que a decisão da fonte do fertilizante fosfatado esteja vinculada ao manejo da adubação com S. Uma recomendação focando exclusivamente na reposição ou manutenção de P_2O_5 que não contemplem S, pode afetar severamente a produtividade de grãos. Portanto, no cálculo da relação custo/benefício para uso dos fertilizantes fosfatados de alta concentração, deve-se contemplar a aquisição do fertilizante sulfatado e atividades operacionais extras para aplicação de S complementar, onde houver necessidade técnica. A mesma atenção deve ser mantida em solos argilosos, porém a intensidade de resposta agronômica ao uso de fontes desbalanceadas tende a ser menor, pois, o solo possui condições favoráveis para o fornecimento de S residual às plantas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adubação com S é dinâmica e traz algumas complexidades particulares. É fundamental ter visão sistêmica e conhecimento de todos os fatores que interferem na sua dinâmica no solo e nas plantas, incluindo o ambiente de produção e o histórico de manejo ao longo do tempo. Desta forma, conforme apresentado no trabalho acima alguns pontos devem ser considerados para recomendação de S, são eles:

- Quanto mais arenoso e menor os teores de MOS maior a necessidade de S via aduba-

ção e maior a probabilidade de ganhos produtivos;

- Em solos com baixos teores de argila e sem histórico de adubação com S, realizar adubação pode proporcionar ganhos médios de 8,5 sc/ha de soja por safra.
- A análise de folha é uma importante ferramenta para diagnóstico do estado nutricional de S na cultura da soja. Talhões com teores foliares de S menor que 2,1 g/kg apresentam

maior probabilidade de resposta a adubação com S na soja;

- Em ambientes com possível deficiência de S e níveis altos de P o uso de fertilizantes fosfatados de alta concentração podem não fornecer a quantidade suficiente de S para a cultura da soja, dependendo da fonte e da dose aplicada;
- Adubações para reposição de S, considerando apenas o que é exportado no grão podem ser insuficientes para a cultura da soja em solos arenosos;
- Embora a análise de solo seja uma importante ferramenta no diagnóstico para avaliar os teores de S no solo, tal parâmetro sozinho apresenta baixa correlação com as respostas agrônômicas da cultura da soja, devendo este ser associado a análise foliar, histórico de utilização de S no talhão e sistema de produção;
- Todas as fontes são interessantes agronomicamente, mas algumas tem particularidades que, obrigatoriamente, devem ser respeitadas. Por exemplo, o gesso quando utilizado como fonte de S anual para a cultura da soja gera dificuldade operacional de aplicação e pode ser lixiviado mais rápido que outras fontes, porém em quantidades maiores é uma excelente fonte. Já fontes que apresentam S elementar pastilhado precisam ser de boa qualidade proporcionando elevada dispersão;
- Ambientes com solos de textura arenosa, baixos níveis de MOS e baixo histórico de aplicação de S elementar e em doses pequenas pode não suprir a demanda de S pela planta nos estádios iniciais;
- Devido à complexidade não é possível confiar em residual por mais de um cultivo, mesmo quando o produtor usou altas doses do nutriente. Fatores como o crescimento radicular em profundidade e a lixiviação podem afetar diretamente as respostas agrônômicas.
- O S nunca deve ser negligenciado em um planejamento de adubação, pois é um dos nutrientes que pode apresentar respostas agrônômicas mais intensas sobre a cultura da soja em solos arenosos corrigidos quanto a acidez e P.

REFERÊNCIAS

- Alvarez VH, Roscoe R, Kurihara CH, Pereira N de F. Enxofre. Fertil do Solo. Sociedade. Viçosa, MG; 2007. p. 1017p.
- Boswell CC. Dryland lucerne responses to elemental sulphur of different particle sizes applied at different rates and frequencies in North Otago, New Zealand. New Zeal J Agric Res. 1997;40:283–295.
- Broch DL, Pavinato PS, Possentti JC, Martin TN, Del Quiqui EM. Produtividade da soja no cerrado influenciada pelas fontes de enxofre. Rev Ciência Agronômica. 2011;42:791–796.
- Churka Blum S, Caires EF, Alleoni LRF. Lime and phosphogypsum application and sulfate retention in subtropical soils under no-till system. J Soil Sci Plant Nutr. 2013;13:279–300.
- Embrapa. Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Sousa DMG de, Lobato E, organizadores. Informação Tecnológica. Brasília; 2004.
- Embrapa. Sistemas de Produção 17 Tecnologias de produção de soja. Embrapa Soja. 2020.
- Ferrari S, Furlani Júnior E, De Godoy LJG, Ferrari JV, De Souza WJO, Alves E. Efeito nas características químicas do solo e produtividade do algodoeiro em função de sulfato de amônio e plantas de cobertura. Acta Sci - Agron. 2015;37:75–83.
- Horowitz N, Meurer EJ. Relação entre atributos de solos e oxidação de enxofre elementar em quarenta

e duas amostras de solos do Brasil. Rev Bras Ci-
ência do Solo. 2007;

Malavolta E. Sulfatos e sulfatação em terra roxa.
(Nota preliminar). Rev Agric. 1949;24:261-273.

McClung AC, Martins de Freitas LM, Romano
Gallo J, Quinn LR, Mott GO. Alguns estudos preli-
minares sobre possíveis problemas de fertilidade,
em solos de diferentes campos cerrados de São
Paulo e Goiás. Bragantia. 1957;17.

McLaughlin M. Technical Bulletin : Fertilizers
and Soil Acidity [acessado].[https://set.adelaide.edu.au/fertiliser/system/files/media/docu-
ments/2020-01/factsheet-fertilizers-and-soil-aci-
dity.pdf](https://set.adelaide.edu.au/fertiliser/system/files/media/documents/2020-01/factsheet-fertilizers-and-soil-acidity.pdf). Fertil. Technol. Res. Cent. Adelaide Univ.
Sch. Agric. Food Wine. 2020. p. 1-4.

Mohr W. O enxofre nas plantas e no solo. Datilo-
grafado. 1948;

Plotegher F, Ribeiro C. Characterization of sin-
gle superphosphate powders - A study of milling
effects on solubilization kinetics. Mater Res.
2016;19:98-105.

Sutar RK, Pujar AM, Kumar Aravinda BN, Hebsur
NS. Sulphur Nutrition in Maize - A Critical Review.
Int J Pure Appl Biosci. 2017;5:1582-1596.

Vitti GC., Otto R., Saviato J. Manejo Do Enxo-
fre Na Agricultura. Informações agronômicas.
2015;1-14.



Associação dos Produtores de
Soja e Milho do Estado de Mato Grosso

Rua Engenheiro Edgard Prado Arze, nº1.777
Edifício Cloves Vettorato, CPA
CEP 78.049-932 Cuiabá-MT

EDIÇÃO 01

Dezembro 2022

DIRETORIA – GESTÃO 2021/2023

PRESIDENTE

Fernando Cadore

VICE-PRESIDENTE

Lucas Luis Costa Beber

COORDENADOR DA COMISSÃO DE DEFESA AGRÍCOLA

Fernando Ferri

VICE-COORDENADOR DA COMISSÃO DE DEFESA AGRÍCOLA

Jorge Diego Oliveira Santos Giacomelli

GERENTE ADMINISTRATIVO – IAGRO-MT

Alexandre Andrade Zamarioli

GERENTE DA COMISSÃO DE DEFESA AGRÍCOLA

Jerusa Rech

**É permitida a reprodução desta Circular Técnica,
desde que citada a fonte.**

Para mais informações do
conteúdo dessa publicação:



65 3644-4215



defesa.agricola@aprosoja.com.br