

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE AGRONOMIA**

**LEANDRO ROBERTO TREVISAN**

**MODOS DE APLICAÇÃO E EFICÁCIA DE FERTILIZANTES FOSFATADOS  
CONTENDO ENXOFRE E MICRONUTRIENTES  
NA CULTURA DA SOJA**

**Uberlândia-MG  
Novembro-2007**

**LEANDRO ROBERTO TREVISAN**

**MODOS DE APLICAÇÃO E EFICÁCIA DE FERTILIZANTES FOSFATADOS  
CONTENDO ENXOFRE E MICRONUTRIENTES  
NA CULTURA DA SOJA**

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao curso de Agronomia,  
da Universidade Federal de  
Uberlândia, para obtenção do grau de  
Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Regina Maria Quintão  
Lana

**Uberlândia-MG  
Novembro-2007**

**LEANDRO ROBERTO TREVISAN**

**MODOS DE APLICAÇÃO E EFICÁCIA DE FERTILIZANTES FOSFATADOS  
CONTENDO ENXOFRE E MICRONUTRIENTES  
NA CULTURA DA SOJA**

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao curso de Agronomia,  
da Universidade Federal de  
Uberlândia, para obtenção do grau de  
Engenheiro Agrônomo.

**Aprovado pela Banca Examinadora em 19 de Novembro de 2007**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Regina Maria Quintão Lana

---

Eng. Agr. M.Sc. Guilherme Bossi Buck  
Membro da Banca

---

Eng. Agr. Marcos Vieira de Faria  
Membro da Banca

## **DEDICATÓRIA**

Como parte da história de 5 anos dedicados à universidade muitos fizeram e fazem parte de minha vida por isso dedico este trabalho a todos que compartilharam de meus passos rumo ao mundo acadêmico, dentre eles: amigos, professores e familiares.

Em especial, ao meu grande pai e amigo Roberto, à minha querida e adorável mãe Célia e minha maravilhosa irmã Juliana, por tudo que foram, são e serão, por todo suporte e compreensão que me ofereceram. Não encontro palavras para expressar-me... somente quero que tenham a certeza de que *AMO VOCÊS COM TODAS AS MINHAS FORÇAS, COM TODA MINHA VIDA!*

## AGRADECIMENTOS

Com amor de filho, agradeço primeiramente à Nossa Senhora Aparecida, que intercedeu por mim junto a Deus Pai nos momentos em que mais precisei e por guiar meus passos nesta caminhada.

Ao meu grande pai e amigo, Roberto Aparecido Trevisan, pelo suor derramado em meu benefício. Pai, nada foi em vão!

À minha mãezinha querida, Célia Aparecida De Viti, pelo estímulo e apoio incondicional desde meus primeiros anos de estudo.

À minha maravilhosa irmã, Juliana Graciela Trevisan, sempre carinhosa comigo, me incentivando.

A todos meus familiares e amigos e da cidade de Dois Córregos – SP, que tiveram em seu íntimo sentimentos de amor e felicidade a cada obstáculo que eu superava.

Aos companheiros de república, Flávio e Jair, pela força nos momentos em que mais precisei. Mais ainda, agradeço-lhes pelo privilégio de tê-los como grandes amigos, assim como André, Rodrigo e Paulo.

Às meninas da comissão de formatura, Jacqueline, Anakely e Josielle (eehhh....Josi!), que além de grandes amigas, mostraram-se extremamente competentes no cumprimento dos compromissos assumidos.

Aos meus colegas da 35ª turma de Agronomia, da Universidade Federal de Uberlândia, pelos bons momentos que passamos juntos.

A todos os professores, técnicos de laboratórios e operadores de campo que contribuíram para minha formação.

Aos membros da banca examinadora, Eng. Agr. M.Sc. Guilherme Bossi Buck e Eng. Agr. Marcos Vieira de Faria, pelo acompanhamento indispensável na execução deste trabalho.

À minha orientadora, Dr<sup>a</sup>. Regina Maria Quintão Lana, pelos ensinamentos transmitidos e por me proporcionar a realização deste e de outros trabalhos. Deixo aqui registrada minha eterna gratidão.

A todos vocês,

*Dois cortadores de pedra estavam trabalhando na reconstrução da Igreja de São Paulo, em Londres, quando Sir Christopher Wren perguntou a cada um o que estava fazendo:*

*O primeiro respondeu:*

*- eu estou cortando pedra.*

*O segundo declarou:*

*- eu estou construindo uma catedral.*

*(Kotler)*

## RESUMO

Solos de cerrado, por apresentarem baixa fertilidade principalmente de fósforo, micronutrientes e enxofre, requerem um manejo alternativo da aplicação desses nutrientes. Busca-se então, maior viabilidade do manejo da adubação associado à aplicação de fertilizantes diferenciados quanto a sua composição sobre o aumento da produtividade da soja, sendo essas fontes solúveis em citrato neutro de amônio mais água. O experimento foi conduzido em condições de campo, num Latossolo Vermelho Eutrófico textura média, localizado no município de Uberlândia, MG, com o objetivo de quantificar a eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados contendo micronutrientes e enxofre e o manejo de aplicação mais adequado em sistema plantio direto na cultura da soja. Os tratamentos constituíram um fatorial 4 x 2 dispostos em blocos casualizados com três repetições, sendo quatro fontes fosfatadas: monoamônio fosfato enriquecido com enxofre e micronutrientes em mistura granulada (MAP), formulado 03-20-10 com enxofre e micronutrientes em mistura granulada (NPK), superfosfato simples (SPS) e superfosfato triplo (SPT) e dois tipos de manejo de aplicação: incorporação no sulco de semeadura e a lanço em área total sem incorporação. Com a incorporação de macro e micronutrientes num mesmo grânulo do fertilizante fosfatado, obtêm-se produtos diferenciados ainda mais eficientes que as fontes tradicionais. A presença de  $S-SO_4^{2-}$ , foi a principal responsável pelos aumentos na produtividade da soja com a aplicação das fontes MAP, NPK e SPS, quando comparados ao SPT. A aplicação das fontes fosfatadas a lanço em área total, sem incorporação, conferiu maiores produtividades à soja, quando comparada aplicação no sulco de semeadura. A eficiência das fontes de fósforo decresceu na seguinte ordem: MAP > NPK = SPS > SPT.

**Palavras chave:** sistema plantio direto, mistura granulada, tecnologia de fertilizantes

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	08
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	09
2.1 Fósforo na cultura da soja.....	09
2.2 Enxofre na cultura da soja .....	10
2.3 Micronutrientes na cultura da soja .....	11
2.4 Adubos fosfatados solúveis .....	12
2.5 Adição de micronutrientes à adubação fosfatada .....	13
2.6 Aplicação à lanço vs aplicação em linha .....	14
2.7 Eficiência da adubação fosfatada .....	15
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	17
3.1 Descrição da área.....	17
3.2 Delineamento experimental e tratamentos .....	18
3.3 Condução do experimento .....	19
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	21
5 CONCLUSÕES .....	30
REFERÊNCIAS .....	31

## 1 INTRODUÇÃO

A revolução sócio-econômica e tecnológica protagonizada pela soja, *Glycine max* (L.) Merrill, no Brasil Moderno pode ser comparada ao fenômeno ocorrido com a cana-de-açúcar no Brasil Colônia e com o café no Brasil Império República, uma vez que em épocas diferentes comandaram o comércio exterior do país.

Abrindo fronteiras e semeando cidades, a soja liderou a implantação de uma nova civilização no Brasil Central, levando o progresso e o desenvolvimento para uma região antes despovoada e desvalorizada, fazendo brotar cidades no vazio dos Cerrados e transformando os pequenos conglomerados urbanos existentes em metrópoles.

O crescimento da produção e o aumento da capacidade competitiva da soja brasileira sempre estiveram associados aos avanços científicos e à disponibilização de tecnologias ao setor produtivo. As pesquisas e o desenvolvimento de novas tecnologias para a produção de soja são de fundamental importância para manutenção da prosperidade da cultura no país.

A intensificação de novas técnicas e obtenção de informações adicionais sobre adubação se fazem necessárias, visando a sustentabilidade dos solos e o incremento do uso dessa prática na produção de soja na região do Cerrado.

Solos de cerrado, por apresentarem baixa fertilidade principalmente de fósforo, micronutrientes e enxofre, requerem um manejo alternativo da aplicação desses nutrientes. Busca-se então, maior viabilidade do manejo da adubação (incorporada no sulco de semeadura ou a lanço em área total sem incorporação), associado a aplicação de fertilizantes diferenciados quanto a sua composição sobre o aumento da produtividade da soja, sendo essas fontes solúveis em citrato neutro de amônio (CNA) mais água.

O presente trabalho visa quantificar a eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados contendo micronutrientes e enxofre, em condições de campo e o manejo de aplicação mais adequado, em sulco de semeadura ou a lanço, em sistema plantio direto na cultura da soja.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Fósforo na cultura da soja

Sabe-se que o fósforo e o potássio são elementos que promovem uma maior produtividade para a soja, pois segundo dados de pesquisa para uma produção de grãos de 3400 kg ha<sup>-1</sup>, a cultura extrai em média 330 kg ha<sup>-1</sup> de N, 64 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 141 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, observando-se que se trata de uma cultura altamente exigente em nutrientes (SEDIYAMA et al., 1993).

Segundo Raij (1991), o fósforo (P), em quantidades adequadas, estimula o desenvolvimento radicular, é essencial para boa formação de grãos e incrementa a precocidade da produção.

Correa et al. (2004), ao avaliarem o efeito de doses crescentes de fósforo na cultura da soja (0, 50, 100 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), observaram resposta positiva da planta no que diz respeito ao aumento de massa seca de raiz até as profundidades de 15 e 30 cm, respectivamente em função das doses de 50 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Esses autores relatam também, a ocorrência de incrementos na massa seca da parte aérea da soja em função do aumento das doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, sendo que a dose de 150 kg ha<sup>-1</sup> foi a mais eficiente para tal. Isto indica que a cultura da soja responde positivamente às elevadas doses de fósforo.

Teruel et al. (2001), constataram que plantas de soja que crescem em solos pobres em fósforo apresentam valores de magnitude e altitude de seus sistemas radiculares comparativamente maiores em relação a plantas crescendo em solos férteis. Isto indica uma estratégia adaptativa da planta em direção à maior eficiência de exploração do solo.

A deficiência de P no solo diminui o potencial de rendimento da soja já nos estádios reprodutivos iniciais, como o florescimento, pela menor produção de flores e maior aborto dessas estruturas. O efeito da deficiência de P continua a se manifestar na formação de menor quantidade de legumes e maior aborto de legumes, o que resulta na diminuição do potencial de rendimento e do rendimento real (VENTIMIGLIA et al., 1999).

A baixa disponibilidade de fósforo e a alta capacidade de adsorção deste, são fatores limitantes à produção de soja em solo de cerrado, assim a adubação fosfatada é indispensável para a obtenção de altas produtividades (MARTINHÃO et al., 2004).

## 2.2 Enxofre na cultura da soja

Vitti e Trevisan (2000), afirmam que o fornecimento de enxofre é fundamental para a cultura da soja. Sabe-se que o referido elemento está diretamente envolvido no metabolismo do nitrogênio, seja pela participação na composição de aminoácidos (metionina, cistina, cisteína, taurina), ou na composição da ferredoxina (enzima chave no processo de fixação simbiótica do N<sub>2</sub> atmosférico). Assim, esses fatos, aliados à deficiência generalizada desse nutriente em solos de cerrado, merecem maior atenção quanto ao manejo desse nutriente.

Esse elemento encontra-se no solo na forma orgânica e inorgânica. Apesar de a primeira representar mais de 90% do S total na maioria dos solos (SOLOMON et al., 2005), é a forma inorgânica (ânion sulfato - SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) que é absorvida pelas plantas, a qual se encontra na solução do solo ou adsorvido na superfície dos colóides inorgânicos por diferentes graus de energia, com ligação mono ou bi coordenada ao Fe ou Al (CASAGRANDE et al., 2003).

Atualmente, mesmo com a adoção do sistema plantio direto, os incrementos nos teores de matéria orgânica são lentos em decorrência da baixa quantidade de resíduos produzidos anualmente, quer por causa da manutenção de pousio invernal, quer pelo monocultivo de soja no verão, ou até pela combinação das duas situações (RHEINHEIMER et al., 2001). Isso significa que está ocorrendo imobilização de enxofre na matéria orgânica. Como a produtividade média das culturas, especialmente da soja, também tem aumentado lentamente (MIELNICZUK et al., 2000) e a reposição de enxofre não deve estar ocorrendo com a adição de fertilizantes concentrados em NPK, Eriksen e Askegaard (2000), alertam para o fato de que as perdas de sulfato por percolação podem tornar negativo o balanço entre entradas e saídas de enxofre no solo, independentemente do tipo de rotação de culturas adotado.

A deficiência de enxofre (S) tem-se tornado mais freqüente e extensiva nos últimos anos, devido ao aumento do uso de fertilizantes que contêm pouco ou nenhum S na sua composição, ao aumento da produtividade, à redução dos teores de matéria orgânica do solo causada pela erosão e mineralização e, ainda, devido à redução do uso do S como pesticida (TISDALE et al., 1995). Para suprir tal deficiência, a utilização de fontes de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> contendo enxofre no programa regular de adubação da soja, apresenta-se como uma das alternativas viáveis (VITTI; TREVISAN, 2000). De acordo com CFSEMG (1999), a aplicação de 30 kg ha<sup>-1</sup> de S, no sulco de semeadura, seria bastante para a correção da deficiência do referido elemento no solo, quando esta ocorre.

Também, o balanço de nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S) na planta é de fundamental importância dado o íntimo relacionamento desses nutrientes nos processos

metabólicos. Uma elevada relação P/S pode ocasionar uma redução na síntese de óleos (KUMAR; SINGH, 1980), enquanto uma elevada relação N/S pode acarretar acúmulo de N na forma não-protéica, principalmente  $N-NO_3^-$  e N orgânico solúvel (STEWART; PORTER, 1969; HAQ; CARLSON, 1993), reduzindo o crescimento vegetal.

### 2.3 Micronutrientes na cultura da soja

Em relação aos micronutrientes, é interessante observar a necessidade de pequenas quantidades desses elementos para a manutenção da cultura. Segundo EMBRAPA Soja (2004), para produção de uma tonelada de grãos de soja, são necessários em média 10 g de cobre (Cu), 20 g de boro (B), 30 g de manganês (Mn) e 40 g de zinco (Zn). Entretanto, a ausência de qualquer um deles poderá acarretar sérios prejuízos à produção. De modo geral, a maioria dos micronutrientes é constituinte de compostos chave no metabolismo de plantas ou essenciais ao funcionamento de sistemas enzimáticos. A deficiência de um deles pode surtir efeito na desorganização de processos metabólicos quanto à deficiência de um macronutriente (MALAVOLTA et al., 1997).

O aumento da extração dos nutrientes do solo, devido aos aumentos de rendimentos da cultura da soja, tem provocado diminuição na disponibilidade de alguns micronutrientes. Bortolini e Pasquali (2003), estudando o incremento de produtividade da soja, através da complementação com nutrientes, afirmaram a necessidade de uso de micronutrientes na cultura da soja no cerrado, com alto retorno do capital investido.

Deficiências de boro (B) e zinco (Zn) são as mais comuns nas culturas brasileiras (MALAVOLTA et al., 1997). Nas culturas anuais, a forma mais utilizada para prevenir ou corrigir a deficiência desses nutrientes é a adubação no sulco ou em cova, e os micronutrientes incorporados aos macronutrientes da formulação de semeadura (LOPES, 1999).

No Brasil, a deficiência de micronutrientes tem se apresentado com maior frequência nos solos sob cerrado, muito embora outras regiões também tenham apresentado resposta à aplicação do cobre. Galvão (1989), em um experimento com a aplicação a lanço de  $2 \text{ kg ha}^{-1}$  de cobre no cultivo da soja, em Latossolo Vermelho-Amarelo, obteve resposta no segundo cultivo, aumentando em  $578 \text{ kg ha}^{-1}$  o rendimento de grãos.

As funções de ativação enzimática, biossíntese, transferência de energia e regulação hormonal são fundamentais para formação, desenvolvimento e maturação das sementes e,

assim, tanto macro quanto micronutrientes apresentam importância similar nos referidos eventos. Neste sentido, o manganês (Mn), pela sua natureza, pode estar envolvido, direta ou indiretamente, na qualidade fisiológica das sementes produzidas e segundo Malavolta et al. (1997), o Mn desempenha papel fundamental na alongação celular.

Diversos fatores relacionados ao solo, clima e planta, afetam a disponibilidade dos micronutrientes aplicados, portanto, a análise de solo deve servir apenas como um indicativo da probabilidade de resposta da planta (BISSANI et al., 2004). Segundo o referido autor, uma vez obtidos baixos teores na análise em áreas onde comumente não há resposta, aconselha-se a realização de um teste prévio em pequena área da lavoura. Quantifica-se então a resposta efetiva do rendimento para depois julgar se seria conveniente a aplicação de micronutrientes em toda a lavoura.

#### **2.4 Adubos fosfatados solúveis**

Conforme Bissani et al. (2004), o teor de  $P_2O_5$  do adubo fosfatado que é solúvel em solução de citrato neutro de amônio e solúvel em água é totalmente disponível para as plantas. Tais fosfatos são compostos totalmente solúveis tanto em água como no solo. São obtidos industrialmente como produtos da reação entre ácidos e fosfatos naturais minerais (apatitas), como é o caso dos superfosfatos simples e triplo. O superfosfato simples contém 18% de  $P_2O_5$  total e 11% de S e é obtido pela reação do ácido sulfúrico com a apatita. Neste produto encontra-se a forma de fosfato monocálcico (solúvel). Já o superfosfato triplo (concentrado) contém 41% de  $P_2O_5$ , sendo obtido pela reação do fosfato tricálcico (apatita) com o ácido fosfórico.

Há também, outros adubos fosfatados solúveis obtidos pela reação de ácido fosfórico com amônia. Essa reação de uma molécula de amônia com uma de ácido fosfórico forma o mono-amônio-fosfato (MAP) e no caso da reação de duas moléculas de  $NH_3$  com uma de ácido fosfórico forma-se o di-amônio-fosfato (DAP). Esses fosfatos de amônio são então considerados adubos mistos, pois além do fósforo contêm também nitrogênio. MAP e DAP, geralmente apresentam teores de N e P da ordem de 9% e 45-48% respectivamente (BISSANI et al., 2004).

Ao aplicar uma fonte solúvel de P no solo, a expectativa é que este material permaneça em solução, à disposição da planta, por considerável período de tempo. Mas resultados de

pesquisa tem demonstrado que o tempo necessário para que a adsorção do P ocorra no solo é bem curto (REIS et al., 1995).

Malavolta (2006), afirma que solubilidade em água não é sinônimo de disponibilidade, uma vez que, devido às transformações pelas quais o P passa no solo, a planta não absorve o fósforo presente no adubo aplicado e sim, a forma resultante dessas transformações. O autor afirma ainda que qualquer que seja o adubo aplicado a raiz somente irá absorvê-lo depois que ele gerar  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  para o solo.

## 2.5 Adição de micronutrientes à adubação fosfata

Segundo Bissani et al. (2004), a deficiência de micronutrientes, principalmente Zn, Cu e B, é comum na região dos cerrados. Geralmente, adubos minerais são formulados com fontes de micronutrientes para utilização nestas áreas. Dentre essas fontes, os óxidos são os mais utilizados por serem geralmente mais baratos. Teoricamente, óxidos são insolúveis em água, porém, pelo processo de acidificação à que são submetidos quando associados à formulação de fertilizantes fosfatados, tornam-se fontes eficientes no fornecimento de micronutrientes. Esses autores relatam ainda, que vários adubos utilizados no suprimento de macronutrientes contêm também micronutrientes como impurezas.

A eficiência agrônômica das diferentes fontes de micronutrientes (inorgânicas, quelatos sintéticos, complexos orgânicos e “fritas”), quando aplicadas isoladamente, vem sendo intensamente estudada. Entretanto, poucos estudos têm avaliado essa eficiência quando as fontes são misturadas, incorporadas ou aplicadas como revestimento de fertilizantes NPK. Esse aspecto deve merecer prioridade da pesquisa com micronutrientes no Brasil (LOPES, 1999). Um melhor desempenho do processo produtivo da agricultura brasileira irá depender mais e mais do uso eficiente de micronutrientes. Para que esse objetivo possa ser atingido, a avaliação das possíveis deficiências, da eficiência das fontes, dos métodos de fabricação, das tecnologias de aplicação e do efeito residual deve ser feita de forma integrada, abrangente e sistêmica.

Para Lopes e Abreu (2000), fontes tradicionais de micronutrientes e, em especial, produtos aprovados recentemente para registro e comercialização, devem ser criteriosamente avaliados quanto à solubilização, eficiência agrônômica e efeito residual, tanto quando aplicados na forma isolada, incorporados, revestidos ou em mistura com fertilizantes NPK.

## 2.6 Aplicação a lanço vs aplicação em linha

Atualmente, a maior parte da adubação fosfatada aplicada no sulco de semeadura é realizada com fontes solúveis em água. Com o aumento do uso do sistema plantio direto, novas técnicas de aplicação para essas fontes necessitam ser avaliadas, já que a adoção desse sistema resulta em mudanças no ambiente edáfico (MOTOMIYA et al., 2004).

Sabe-se hoje, que a aplicação de fertilizantes fosfatados em área total, no sistema plantio direto, tem sido realizada em superfície, sem incorporação. Em função da presença de restos culturais e do maior nível de matéria orgânica, o sistema plantio direto proporciona um ambiente menos oxidativo e as reações de fixação do P no solo são amenizadas. Deste modo, há também menor contato dos resíduos com o solo influenciando a fertilidade nos primeiros 10 cm superficiais do solo (COSTA; ROSOLEM, 2000).

No sistema plantio direto, a adubação fosfatada é feita a lanço, na superfície do solo, sem incorporação, ou então de forma localizada em pequena profundidade no sulco de semeadura. Criam-se então, dois ambientes químicos no solo, onde uma pequena fração rica em P disponível abriga a maior parte do sistema radicular e a outra fração de maior volume, com menor teor de P disponível, abriga o restante do sistema radicular (KLEPKER; ANGHINONI, 1993 citados por OLIVEIRA et al., 2002). Porém, um maior volume de raízes em local restrito, mesmo este ambiente sendo rico em P, pode não ser suficiente para suprir as necessidades da planta (NOVAIS; SMYTH, 1999).

Conforme Bissani et al. (2004), a aplicação das fontes fosfatadas em linha no sulco de semeadura apresenta as vantagens de não necessitar de uma operação especial para aplicação do adubo; haver menor “fixação” durante o ciclo da cultura uma vez que a reação do adubo no solo é mais lenta devido ao seu menor contato com o solo e por proporcionar melhor nutrição à planta no início do crescimento pela maior concentração do P junto às raízes. Por outro lado, o sistema radicular fica reduzido se o solo é muito deficiente em P, podendo ocorrer o tombamento de plantas; a disponibilidade de água é reduzida pela menor exploração do solo pelo sistema radicular; a quantidade de P absorvido pode ser menor do que na aplicação a lanço devido à menor extensão do sistema radicular e as quantidades de P que podem ser utilizadas são menores (100-150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), devido ao efeito salino do adubo sobre as raízes da planta.

Já com relação a aplicação a lanço em área total, técnica bastante empregada no sistema plantio direto atualmente, o fósforo por ser muito pouco móvel no solo, somente as

raízes superficiais podem absorvê-lo. A manutenção do teor adequado de P na camada superficial do solo nesse sistema é feita então por ciclagem biológica (BISSANI et al., 2004).

Quanto a resposta das plantas aos diferentes modos de aplicação do fertilizante fosfatado, esta é dependente da interação de vários fatores referentes a dose e solubilidade do adubo, espaçamento e distribuição do sistema radicular da cultura e das características físico-químicas do solo por afetarem o suprimento de P às plantas (OLIVEIRA et al., 2002). Model e Anghinoni (1992), ao realizarem ensaios de curta duração em vasos, afirmaram que a adubação localizada é vantajosa com o uso e baixas doses de P em solos deficientes com alta fixação de P e boa disponibilidade de água. Klepker e Anghinoni (1996) relatam que nas condições de campo essas vantagens da localização de P, observadas nos vasos, tendem a diminuir e até mesmo se invertem. A disponibilidade de água teria relação íntima com este acontecimento.

Malavolta (2006), diz que quando se usa uma formulação NPK o elemento limitante para a localização é o P pelo menor coeficiente de difusão no solo. Então, colocando-se o fertilizante de modo a assegurar a absorção do fósforo pela planta, o N e o K também serão aproveitados.

## **2.7 Eficiência da adubação fosfatada**

Segundo Bissani et al. (2004), a eficiência do adubo fosfatado é dependente de fatores como a forma química, a granulação, o método de incorporação, propriedades do solo (acidez e capacidade de retenção do P), clima e a quantidade de P aplicado. A granulação, além de facilitar a aplicação, aumenta a eficiência dos fosfatos solúveis, devido a menor fixação de P. A concentração de P-solução na proximidade dos grânulos do adubo é mantida alta devido à saturação do P-sólido. Segundo o autor, esta condição é necessária principalmente para as plantas de crescimento rápido (anuais) como é o caso da cultura da soja, por requerer grandes quantidades de P num curto período de tempo.

Dependente também das propriedades do solo, a eficiência de fertilizantes fosfatados solúveis é menor em solos ácidos que possuem alta capacidade de retenção de P. Solos mais argilosos com altos teores de óxidos de Fe e Al, em geral, apresentam estas condições. Com o passar do tempo e aumento da estabilidade e das ligações do fosfato com os óxidos e argilas, ocorre um decréscimo do efeito residual do adubo fosfatado. A obtenção de dados de efeito residual é importante para a elaboração das tabelas de adubação (BISSANI et al., 2004).

Para Gonçalves et al. (1985), a matéria orgânica é uma das principais características que influem na adsorção de P. Esta, ao interagir com os óxidos de Fe e Al reduzem os sítios de fixação, pelo recobrimento da superfície desses óxidos por moléculas de ácidos húmicos, acético e málico, ou ainda, pela formação de compostos na solução do solo. Desta maneira há então, uma tendência de menor fixação e, portanto, maior aproveitamento pela planta do P oriundo da adubação fosfatada.

Em trabalho realizado por Bedin et al. (2003), constata-se um aumento no fator capacidade de P do solo na seqüência Neossolo Quartzarênico (NQ) < Latossolo Vermelho Amarelo de textura média (LVAm) < Latossolo Vermelho Amarelo de textura argilosa (LVAr), restringindo a adsorção e contribuindo para uma maior eficiência de utilização do nutriente, nivelando os efeitos de diferentes fontes de P no crescimento e produção da soja. Desse modo, fica evidente a interferência do teor de argila na atividade do P no solo.

Para Novais e Smyth (1999), a eficiência de uma fonte de P é muito dependente de sua solubilidade. Fontes mais solúveis, por apresentarem o nutriente prontamente disponível, favorecem a absorção e aproveitamento do nutriente especialmente pelas culturas anuais, como é o caso da soja. Por outro lado, o processo de precipitação e adsorção de formas solúveis no solo é favorecido por essa rápida liberação do P e também é maior, quanto maior for o teor de argila do solo em questão. Isso leva a formação de compostos fosfatados de baixa solubilidade e conseqüentemente, indisponibilizando o nutriente para as plantas.

Dessa maneira, busca-se a máxima eficiência da adubação fosfatada, com o mínimo de fixação de P no solo durante o suprimento da demanda da cultura. Tal efeito pode ser alcançado quando a velocidade de liberação da fonte utilizada coincidir com a capacidade de aproveitamento do nutriente pela cultura ao longo do seu ciclo (BEDIN et al., 2003).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Descrição da Área

O experimento foi conduzido na Fazenda Canadá, de propriedade do Grupo ABC Algar, localizada no município de Uberlândia - MG, com declividade suave, temperatura média de 25°C, altitude de 800 metros e precipitação média em torno de 1200 mm ano<sup>-1</sup>.

A área (denominada “Piracicaba”) onde foi instalado o experimento, encontrava-se no mínimo a 8 anos em sistema plantio direto, sendo que na safra 2002/03 teve uma produção de 65 sacas ha<sup>-1</sup> de soja (Vencedora - BRSMG 68) e na safra 2003/04, com milho (Pioneer 30P70), 136 sacas ha<sup>-1</sup>.

O solo da área, classificado como Latossolo Vermelho Eutrófico textura média (27% de argila), foi previamente analisado quanto aos teores de macro e micronutrientes, acidez e características químicas apresentando os seguintes resultados de acordo com as análises (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1. Análise química do solo (0-20 cm) da área Piracicaba. Fazenda Canadá, Uberlândia - MG, 2004.

pH	P	K	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	H+Al	SB	t	T	V	M.O.
1:2,5	.....mg dm <sup>-3</sup> .....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....%	.....
6,2	2,5	39,5	0,0	1,0	0,4	1,5	1,5	1,50	2,99	50	1,1

pH (H<sub>2</sub>O); P, K (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 mol L<sup>-1</sup>); Al, Ca, Mg (KCl mol c<sup>-1</sup>); M.O. (Walkley-Black).

Tabela 2. Análise de micronutrientes do solo (0-20 cm) da área Piracicaba. Fazenda Canadá, Uberlândia - MG, 2004.

B	Cu	Fe	Mn	Zn	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
.....mg dm <sup>-3</sup> .....					
0,14	0,6	15	3,5	0,4	3

B (BaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O a 0,125% à quente); Cu, Fe, Mn, Zn (DTPA 0,005 mol L<sup>-1</sup> + CaCl 0,01 mol L<sup>-1</sup> + TEA 0,1 mol L<sup>-1</sup> a pH 7,3); S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>).

Não houve preparo do solo da área para execução do experimento, uma vez que foi utilizado o sistema plantio direto. A saturação por bases (V = 50%) e o pH (6,2) estavam adequados para a cultura da soja, não sendo necessária a realização da calagem. Os teores de

fósforo e potássio no solo estavam baixos, assim como os teores de enxofre e micronutrientes (CFSEMG, 1999).

### 3.2 Delineamento Experimental e Tratamentos

Os tratamentos constituíram um fatorial 4 x 2 (quatro fontes fosfatadas e dois tipos de manejo), dispostos em blocos casualizados com três repetições. As parcelas constituíam-se de 12 linhas de soja com 5 m de comprimento x 0,45 m entre linhas, com uma área total de 27 m<sup>2</sup>. A área útil considerada foi de 8 linhas centrais, desprezando-se 0,5 m das extremidades, com uma área útil de 14,4 m<sup>2</sup>.

As fontes de fósforo utilizadas foram: monoamônio fosfato enriquecido com enxofre e micronutrientes em mistura granulada (MAP), formulado 03-20-10 com enxofre e micronutrientes em mistura granulada (NPK), superfosfato simples (SPS) e superfosfato triplo (SPT). As fontes MAP e NPK, corresponderam respectivamente aos fertilizantes ACT 46<sup>®</sup> e Maxigrano<sup>®</sup> produzidos pela Mosaic Fertilizantes do Brasil S/A. MAP trata-se de um fosfato monoamônico, enriquecido com enxofre e micronutrientes, constituindo um fertilizante granulado, com nitrogênio, fósforo, enxofre e micronutrientes em um único grânulo. NPK, por sua vez, também é um fertilizante granulado que apresenta nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre e micronutrientes em um único grânulo. Na Tabela 3 encontram-se as concentrações de nutrientes de cada fonte utilizada.

Tabela 3. Fontes de fósforo utilizadas e respectivas porcentagens de cada nutriente em suas composições. Uberlândia-MG, 2004.

Fonte (solúvel em CNA + H <sub>2</sub> O)	Nutrientes (%)								
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	S total	Zn	Cu	B	Mn	Ca
MAP*	4,6	28,6	0	12,1	0,2	0,14	0,03	0,2	---
NPK*	3	20	10	8	0,3	0,15	0,3	0,3	---
SPS**	---	18	---	11	---	---	---	---	19
SPT**	---	41	---	---	---	---	---	---	13

\* Centro Agrônomo da Mosaic Fertilizantes, 2004; \*\* Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, 1998.

Todas as fontes fosfatadas foram aplicadas adotando-se dois manejos distintos, tanto incorporadas no sulco de semeadura como a lanço na área total da parcela sem incorporação, ambos no dia da semeadura da soja.

As quantidades de cada material foram calculadas de modo a fornecer 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> conforme expresso na Tabela 4. A adubação potássica foi realizada com cloreto de potássio (KCl) de forma a fornecer 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O em todos os tratamentos, conforme recomendação regional. As parcelas tratadas com a fonte 2, que já apresenta potássio em sua composição, receberam apenas 50% da dose recomendada de K<sub>2</sub>O na forma de KCl. A distribuição do KCl em todas as parcelas foi realizada a lanço sem incorporação em área total no dia da semeadura. Não houve nivelamento das fontes de fósforo testadas quanto ao fornecimento de nitrogênio, enxofre e micronutrientes, pois fazem parte do conceito dos produtos, os quais foram objetivos desse estudo.

Tabela 4. Fontes de fósforo utilizadas e respectivas doses em kg ha<sup>-1</sup> com base em 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Uberlândia-MG, 2004.

Fonte	Total	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	S total	Zn	Cu	B	Mn	Ca
	..... kg ha <sup>-1</sup> .....									
MAP	349,7	16,1	100	---	42,3	0,7	0,5	0,1	0,70	---
NPK	500	15	100	50	40	1,5	0,8	1,5	1,5	---
SPS	555,6	---	100	---	61,1	---	---	---	---	105,6
SPT	243,9	---	100	---	---	---	---	---	---	31,7

### 3.3 Condução do Experimento

A semeadura foi realizada no dia 28 de novembro de 2004, utilizando-se a cultivar de soja BRSMG 68 (Vencedora). As sementes foram tratadas com Tetramethylthiuram disulfide e inoculante turfoso (*Bradirhizobium japonicum*) em todos os tratamentos.

Após a colheita, realizada em 06 de abril de 2005, avaliaram-se as seguintes variáveis: produtividade, altura de plantas, número de vagens por planta, peso de mil grãos e teores de macro e micronutrientes nas folhas, bem como, residual no solo.

Para avaliar o teor de macro e micronutrientes nas folhas, foram coletadas amostras no florescimento pleno da soja, R2 (FEHR et al., 1977), retirando-se a terceira folha completamente desenvolvida, a partir do ápice das plantas. Estas folhas foram secas em estufa de ventilação forçada a 65°C, até peso constante. Em seguida foram moídas para análise química realizada no Laboratório de Solos do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, conforme Bataglia et al. (1985).

Para a avaliação do efeito residual da adubação no solo da área, imediatamente após a colheita da soja, efetuou-se a coleta de uma amostra de terra na profundidade de 0 a 20 cm, para cada parcela experimental. As amostras, após serem secas ao ar, peneiradas com malha de 2 mm de abertura, foram analisadas quimicamente. Determinaram-se fósforo e potássio disponíveis; cálcio, magnésio e enxofre; boro; ferro; cobre; manganês e zinco, de acordo com metodologia proposta por Silva et al. (1999).

A análise de variância dos dados foi efetuada com o auxílio do programa Sisvar desenvolvido pela Universidade Federal de Lavras (FERREIRA, 2006), e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Conforme metodologia descrita por Prochnow et al. (2004), o índice de eficiência agrônômica (IEA) das fontes de fósforo avaliadas foi calculado para a produtividade (PROD) da soja, tomando-se o superfosfato triplo como fonte-padrão de comparação, através da seguinte fórmula:

$$IEA = [ (PROD \text{ Fonte}) / (PROD \text{ Superfosfato triplo}) ] \times 100$$

Dados referentes à precipitação pluviométrica média na área onde foi executado o experimento, referentes aos meses de outubro de 2004 a março de 2005, encontram-se na Figura 1.

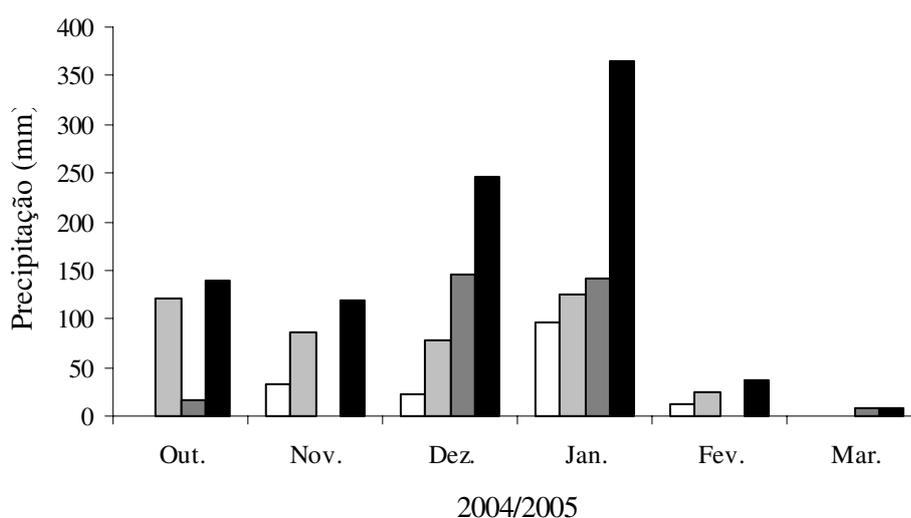


Figura 1. Precipitação pluvial (mm) registrada no primeiro (□), segundo (■) e terceiro (■) decêndios com respectivos totais mensais (■) durante o cultivo da soja na safra 2004/2005.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quanto à produtividade, observaram-se diferenças entre as fontes e entre os modos de aplicação dos fertilizantes fosfatados, não havendo efeito significativo da interação entre ambas (Tabela 5a).

As maiores produtividades foram obtidas com as fontes MAP, NPK e SPS, que não diferiram entre si pelo teste de F a 5% de significância. O uso destas fontes resultou em produtividades acima de 4000 kg ha<sup>-1</sup>, superiores a produtividade obtida quando do uso do SPT (3762 kg ha<sup>-1</sup>), conforme Tabela 5a. Provavelmente, o referido efeito tenha ocorrido em virtude da ausência do enxofre (S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) na composição do superfosfato triplo.

Um diferencial que justifica a maior eficiência produtiva obtida com MAP e NPK está na presença de nitrogênio em suas formulações. Segundo Scholles et al. (1983), citados por Novais e Smith (1999), a aplicação de pequenas doses de N como “arranque” para o cultivo da soja, apesar de não ter o aumento de N interno como resultado prático esperado, têm no aumento do P interno ou de outros nutrientes, justificando assim ganhos de produtividade. Segundo esses autores, a presença de N externo à raiz, estimula o desenvolvimento de um maior sistema radicular com raízes mais finas, aumentando a absorção de P pela soja ou favorecendo o fluxo difusivo de P no solo quando a fonte de N for amoniacal, como é o caso da fonte MAP por se tratar de fosfato monoamônico.

Para Miller (1974), também citado por Novais e Smith (1999), a maior absorção do fósforo na presença de N, seria causada pela participação do N nos processos de absorção e transporte interno de P. O N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> aumentaria a absorção do P, por causar redução do pH na interface solo-raiz conforme relatado por Marschner (1991).

Comparando a menor produção (3762 kg ha<sup>-1</sup>), obtida com o SPT, com a maior produção (4088 kg ha<sup>-1</sup>), obtida com MAP, nota-se uma diferença de 326 kg ha<sup>-1</sup>, representando um aumento de 9 % na produtividade (Tabela 5a). O fato da formulação concentrada do SPT possuir apenas fósforo e cálcio pode ter influenciado no seu menor desempenho.

Em relação ao melhor modo de aplicação para as fontes fosfatadas, a aplicação a lanço em área total conferiu maiores produtividades quando comparada à aplicação exclusivamente no sulco de semeadura (Tabela 5a). Concordando com Pöttker (1997), citado por Oliveira et al. (2002), que ao conduzir um experimento com a aplicação de uma única dose de P em diferentes modos de aplicação num solo com teor inicial “médio” de P (4,3 mg dm<sup>-3</sup>),

constatou que a adubação fosfatada aplicada a lanço sem incorporação foi mais eficiente quanto ao rendimento de grãos de soja que a realizada incorporada na linha de semeadura. Um maior volume de raízes em local restrito, mesmo este ambiente sendo rico em P, pode não ser suficiente para suprir as necessidades da planta (NOVAIS; SMITH, 1999). Para Klepker e Anghinoni (1996), a alta densidade superficial de raízes no solo e adubações localizadas resultam no secamento rápido do solo nessa camada havendo a restrição do fluxo difusivo do P no solo em períodos de elevada evapotranspiração.

Bissani et al. (2004), cita algumas desvantagens da aplicação do adubo fosfatado incorporado na linha de semeadura. Dentre elas, têm-se que o sistema radicular da planta fica reduzido quando o solo é muito deficiente em P, podendo ocorrer o tombamento das plantas; a disponibilidade de água é reduzida pela menor exploração do solo pelo sistema radicular; a quantidade de P absorvido pode ser menor do que na aplicação a lanço, devido à menor extensão do sistema radicular e as quantidades de P que podem ser utilizadas na aplicação no sulco são menores (100-150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), devido ao efeito salino sobre as raízes da planta, causado principalmente pela presença do cloreto de potássio nas formulações N-P-K.

Tabela 5. Efeito de manejo e fontes de fósforo na produtividade, altura de plantas, número de vagens por planta e massa de mil grãos da soja. Uberlândia - MG, 2005.

(a)				(b)			
Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )				Altura de Plantas (cm)			
Fonte	Manejo		Média	Fonte	Manejo		Média
	Lanço	Sulco			Lanço	Sulco	
MAP	4158	4017	4088 a	MAP	67,33	66,30	66,81 a
NPK	4291	3847	4069 a	NPK	64,66	68,06	66,36 a
SPS	4047	4081	4064 ab	SPS	65,63	69,93	67,78 a
SPT	3998	3526	3762 b	SPT	55,40	53,43	54,41 b
Média	4124 A	3868 B		Média	63,25	64,43	
CV (%)			4,55	CV (%)			4,48

(c)				(d)			
Número de Vagens por Planta				Massa de Mil Grãos (g)			
Fonte	Manejo		Média	Fonte	Manejo		Média
	Lanço	Sulco			Lanço	Sulco	
MAP	66,70	64,70	65,70	MAP	142,30	143,29	142,80
NPK	68,13	68,00	68,06	NPK	142,96	139,90	141,43
SPS	62,10	70,16	66,13	SPS	140,93	140,93	140,80
SPT	63,36	79,20	71,28	SPT	140,55	139,08	139,81
Média	65,07	70,51		Média	141,62	140,80	
CV (%)			12,25	CV (%)			2,08

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna ou maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A ausência de letras indica teste de F não significativo.

Com relação à altura das plantas de soja, evidenciou-se que os tratamentos com SPS, MAP e NPK, apresentaram plantas superiores em tamanho quando comparados ao tratamento com SPT (Tabela 5b). Já as formas de aplicação das fontes fosfatadas, bem como a interação entre fonte e manejo, não interferiram neste quesito (Tabela 5b).

Em trabalho realizado por Rheinheimer et al. (2007), a cultura da soja não respondeu em produção de matéria seca à aplicação de enxofre, não havendo também relação entre o rendimento relativo de matéria seca e os teores de  $S-SO_4^{2-}$  da camada de 0-10 cm. Ainda segundo o mesmo autor, o teor de enxofre no tecido da parte aérea e a exportação deste nutriente pela cultura da soja aumentaram com a fertilização sulfatada, mesmo não proporcionando aumentos em produção de matéria seca, concluindo que elevadas adições de enxofre no solo podem significar maior absorção pela planta, sem que ocorram correspondentes aumentos na produção de matéria seca. Concordando parcialmente com as afirmações de Rheinheimer et al. (2007), houve aumentos nos teores foliares de  $S-SO_4^{2-}$  nos tratamentos submetidos a adubação com fontes fosfatadas contendo o referido elemento (Tabela 6c). Porém, não descarta-se a hipótese de que a produção de matéria seca tenha sido influenciada pelo  $S-SO_4^{2-}$ , uma vez que SPS apresenta enxofre em sua composição, apesar de não diferir de MAP e NPK, resultou na obtenção de plantas mais altas e robustas em comparação ao tratamento com SPT (Tabela 5b).

Foi observada uma relação positiva entre produtividade e altura de plantas. Coincidentemente, os tratamentos que obtiveram as maiores produtividades (FT1, FT2 e SPS), também apresentaram plantas significativamente mais altas e robustas. O SPT, com a menor média de altura de plantas (54,41 cm) foi o tratamento que resultou na menor produtividade conforme já mencionado.

Sabe-se que balanço de nitrogênio, fósforo e enxofre na planta é de fundamental importância em função do íntimo relacionamento desses nutrientes nos processos metabólicos. Uma elevada relação N/S, por exemplo, pode acarretar acúmulo de N na forma não-protéica, principalmente  $N-NO_3^-$  e N orgânico solúvel (STEWART; PORTER, 1969; HAQ; CARLSON, 1993), reduzindo o crescimento vegetal. Assim, o desbalanço nos teores desses elementos nas plantas de soja submetidas à adubação com superfosfato triplo pode ser a justificativa para a ocorrência de plantas menores e por consequência, menos produtivas.

Verificou-se também que as diferentes fontes de fósforo estudadas bem como a forma de aplicação das mesmas (incorporadas no sulco de semeadura ou a lanço sem incorporação em área total) e a interação entre as mesmas, não interferiram no peso dos grãos da soja e no número de vagens por planta, conforme Tabelas 5c e 5d.

Quanto às concentrações de N, Ca e  $S-SO_4^{2-}$  nas folhas de soja, houve diferença somente entre fontes, independentemente do tipo de manejo e interação fonte x manejo (Tabelas 6a,b,c). Nota-se que as quantidades de N (Tabela 6a) e/ou  $S-SO_4^{2-}$  (Tabela 6c) fornecidas pelos fertilizantes MAP, NPK e SPS foram suficientes para atender a demanda desses nutrientes pela cultura da soja. Por sua vez, SPT revelou concentrações foliares de N e  $S-SO_4^{2-}$  abaixo do nível crítico da cultura, justamente pela ausência desses elementos em sua composição.

Todas as fontes apresentaram em média, níveis de Ca inferiores ao valor crítico admitido para a análise de tecidos para a cultura da soja (Tabela 6b). O fornecimento de Ca pelas fontes SPS e SPT não foi suficientemente bastante para atender a exigência da planta e muito menos capaz de interferir na concentração residual do elemento no solo (Tabela 7b). Como visto na tabela 5a, as maiores produtividades foram obtidas com MAP e NPK, que não apresentam Ca em suas composições, não diferindo de SPS (com 19% de Ca), permitindo inferir que a presença ou ausência de cálcio na composição das fontes fosfatadas não interferiu nas produtividades alcançadas com o uso das mesmas.

Resultados obtidos por Mann et al. (2002), indicam que a aplicação do Mn, independentemente da cultivar e da forma de aplicação, aumenta a produtividade de grãos, a germinação, a condutividade elétrica, o índice de velocidade de emergência e os teores de proteína e óleo da soja. Quanto ao fornecimento de Mn, MAP e NPK apresentaram-se significativamente superiores ao SPT, porém, todas as fontes proporcionaram o suprimento deste elemento de forma satisfatória à cultura da soja. Observa-se ainda que a aplicação das fontes no sulco de semeadura proporcionou maior acúmulo de Mn nas folhas (Tabela 6d).

Com relação ao Zn, observou-se interação significativa entre fontes fosfatadas e formas de aplicação das mesmas (Tabela 6e). Aplicadas no sulco de semeadura, as fontes testadas não diferiram entre si, enquanto que aplicadas a lanço, SPS e SPT apresentaram respectivamente o melhor e o pior suprimento do referido elemento à planta de soja. Quanto ao comportamento das fontes dentro de cada nível de manejo, a forma de aplicação do MAP ou do SPS, seja no sulco de semeadura ou a lanço em área total, não influenciou o fornecimento de Zn. Mas para NPK e STP, a aplicação no sulco de semeadura mostrou-se a alternativa mais eficiente quando almeja-se melhor suprimento do referido elemento.

É válido ressaltar que assim como o ocorrido para Mn, a exigência da cultura em Zn foi atendida por todas as fontes, como revela o resultado da análise foliar nas Tabelas 6d e 6e. Houve também, incremento nos teores desses elementos no solo para todas as fontes utilizadas (Tabelas 7c e 9). Isso permite inferir que o caráter ácido das fontes SPS e SPT,

tenha promovido redução no pH do solo, principalmente quando na aplicação localizada, resultando na solubilização de formas antes complexadas de Mn e Zn. Assim, houve aumento na disponibilidade desses micronutrientes na solução do solo que, por consequência, foram absorvidos em quantidades suficientes pela planta de soja.

Tabela 6. Efeito de manejo e fontes de fósforo nas concentrações de N, Ca, S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Mn e Zn nas folhas de soja. Uberlândia - MG, 2005.

(a)				(b)			
N (g kg <sup>-1</sup> )				Ca (g kg <sup>-1</sup> )			
Fonte	Manejo		Média	Fonte	Manejo		Média
	Lanço	Sulco			Lanço	Sulco	
MAP	49,53	50,93	50,23 a	MAP	8,00	8,20	8,1 b
NPK	50,56	52,56	51,56 a	NPK	7,90	8,30	8,1 b
SPS	49,56	49,90	49,73 ab	SPS	8,00	9,13	8,56 ab
SPT	46,40	42,30	44,35 b	SPT	9,43	8,86	9,15 a
Média	49,01	48,92		Média	8,33	8,62	
Nível crítico			45,00	Nível crítico			10,00
CV (%)			7,08	CV (%)			6,28

(c)				(d)			
S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (g kg <sup>-1</sup> )				Mn (mg kg <sup>-1</sup> )			
Fonte	Manejo		Média	Fonte	Manejo		Média
	Lanço	Sulco			Lanço	Sulco	
MAP	2,56	2,53	2,55 ab	MAP	69,33	82,00	75,66 a
NPK	2,53	2,60	2,56 a	NPK	65,66	79,66	72,66 a
SPS	2,70	2,56	2,63 a	SPS	68,00	70,33	69,16 ab
SPT	2,40	2,30	2,35 b	SPT	61,33	63,66	62,50 b
Média	2,55	2,50		Média	66,08 B	73,91 A	
Nível crítico			2,50	Nível crítico			20,00
CV (%)			4,93	CV (%)			8,49

(e)			
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )			
Fonte	Manejo		Média
	Lanço	Sulco	
MAP	72,33 abA	74,33 aA	73,33
NPK	67,00 abB	90,33 aA	78,66
SPS	77,00 aA	71,00 aA	74,00
SPT	52,66 bB	73,00 aA	62,83
Média	67,25	77,16	
Nível crítico			20,00
CV (%)			12,78

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna ou maiúscula na linha, não diferem entre si as pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A ausência de letras indica teste de F não significativo. Nível crítico = valores críticos de referência para interpretação de resultados de análise de tecidos para a cultura da soja de acordo com CFSEMG 1999.

Tabela 7. Efeito de manejo e fontes de fósforo nas concentrações de P, Ca e Mn no solo. Uberlândia - MG, 2005.

(a)				(b)			
P (mg dm <sup>-3</sup> )				Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )			
Fonte	Manejo		Média	Fonte	Manejo		Média
	Lanço	Sulco			Lanço	Sulco	
MAP	34,03	27,20	30,61	MAP	1,20	1,00	1,10
NPK	35,73	32,40	34,06	NPK	1,26	1,10	1,18
SPS	33,23	25,96	29,60	SPS	1,23	0,96	1,10
SPT	43,46	34,00	38,73	SPT	1,16	1,00	1,08
Média	36,61 A	29,89 B		Média	1,21 A	1,01 B	
Nível inicial			2,50	Nível inicial			1,00
Nível ideal			>30,00	Nível ideal			>4,00
CV (%)			21,20	CV (%)			16,94

(c)			
Mn (mg dm <sup>-3</sup> )			
Fonte	Manejo		Média
	Lanço	Sulco	
MAP	5,83	7,23	6,53 a
NPK	5,36	6,56	5,96 ab
SPS	5,43	6,70	6,06 a
SPT	5,23	4,96	5,10 b
Média	5,46 B	6,36 A	
Nível inicial			3,5
Nível ideal			>12,00
CV (%)			9,47

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna ou maiúscula na linha, não diferem entre si as pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A ausência de letras indica teste de F não significativo. Nível inicial = resultado da análise química do solo realizada na área antes da instalação do experimento. Nível ideal = valor referente a classe de interpretação de fertilidade do solo tido como “muito bom”, de acordo com CFSEMG 1999.

O nivelamento em 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O em todos os tratamentos mostrou-se suficiente para atender a demanda da cultura (Tabela 8) e permitir ainda aumentos residuais nos teores de P e K do solo (Tabelas 7a e 9 respectivamente). Incrementos em produtividade e nos teores de P no solo e nas folhas também foram encontrados por Coutinho et al. (1991), utilizando adubos fosfatados na soja. Segundo Barber (1974) citado por Novais e Smith (1999), o fósforo, com coeficiente de difusão no solo da ordem de 10<sup>-11</sup> cm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>, é muito pouco móvel e não lixiviável em condições normais, permitindo-nos compreender a presença de residual para a adubação fosfatada.

Observou-se que a aplicação das fontes fosfatadas a lanço, por proporcionar uma maior superfície de adsorção do fósforo aplicado, surtiu num incremento do teor do elemento no solo superior ao obtido com a aplicação no sulco de semeadura, enquanto que não houve diferença entre fontes e na interação fonte x manejo (Tabela 7a).

Tabela 8. Efeito de manejo e fontes de fósforo nas concentrações de P, K, Mg, B, Cu e Fe nas folhas de soja. Uberlândia - MG, 2005.

Fonte	Manejo	P	K	Mg	B	Cu	Fe
		g kg <sup>-1</sup>			mg kg <sup>-1</sup>		
MAP	Sulco	3,56	19,16	4,00	50,00	7,33	99,33
	Lanço	3,76	21,16	4,00	51,66	8,33	108,66
NPK	Sulco	3,53	21,66	3,93	52,00	8,66	104,66
	Lanço	3,70	19,33	3,96	52,00	7,66	107,00
SPS	Sulco	3,63	20,50	3,90	47,00	7,66	101,33
	Lanço	3,66	20,33	4,10	49,00	7,66	107,00
SPT	Sulco	3,53	19,50	4,20	50,33	7,33	116,00
	Lanço	3,66	17,50	3,96	50,00	6,66	126,66
Nível crítico		2,50	17,00	4,00	20,00	10,00	50,00
TESTE F	Fonte (F)	0,96ns	0,40ns	0,82ns	0,24ns	0,24ns	0,16ns
	Manejo (M)	0,35ns	0,51ns	0,99ns	0,90ns	0,67ns	0,25ns
	F x M	0,93ns	0,36ns	0,52ns	0,81ns	0,32ns	0,95ns
CV (%)		6,59	11,40	6,17	6,60	12,57	13,38

ns = não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Nível crítico = valores críticos de referência para interpretação de resultados de análise de tecidos para a cultura da soja de acordo com CFSEMG 1999

Tabela 9. Efeito de manejo e fontes de fósforo nas concentrações de K, Mg, S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, B, Cu, Fe e Zn no solo. Uberlândia - MG, 2005.

Fonte	Manejo	Mg *	K	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> *	B	Cu	Fe	Zn
		cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			mg dm <sup>-3</sup>			
MAP	Sulco	1,07	45,00	1,91	0,22	1,33	26,00	3,10
	Lanço	1,12	44,00	2,15	0,19	1,66	26,00	3,53
NPK	Sulco	1,09	49,33	1,91	0,22	1,56	26,00	3,33
	Lanço	1,11	41,66	2,29	0,21	1,53	20,66	3,56
SPS	Sulco	1,07	42,66	1,91	0,21	1,46	24,33	2,83
	Lanço	1,09	38,00	2,00	0,25	1,33	21,66	3,16
SPT	Sulco	1,07	52,66	1,73	0,20	1,73	23,66	3,36
	Lanço	1,09	53,00	1,91	0,20	1,46	23,66	3,20
Nível inicial		1,63	39,50	2,73	0,14	0,60	15,00	0,4
Nível ideal		> 2,22	> 80,00	> 10,00	> 0,50	> 0,80	> 12,00	> 1,20
TESTE F	Fonte (F)	0,62ns	0,24ns	0,40ns	0,41ns	0,79ns	0,16ns	0,72ns
	Manejo (M)	0,19ns	0,89ns	0,45ns	0,99ns	0,86ns	0,06ns	0,47ns
	F x M	0,33 ns	0,76ns	0,31ns	0,37ns	0,52ns	0,20ns	0,88ns
CV (%)		2,48	22,19	14,68	16,39	23,46	9,93	21,25

ns = não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \* valores transformados por raiz quadrada de  $x + 1$ , para maior homogeneidade de dados e redução do CV%. Nível inicial = resultado da análise química do solo realizada na área antes da instalação do experimento. Nível ideal = valor referente à classe de interpretação de fertilidade do solo tido como “muito bom”, de acordo com CFSEMG 1999.

Em relação aos teores de B e Cu no solo, nota-se incremento em relação aos níveis iniciais (Tabela 9). Porém, assim como observado para o Ca, nenhuma das fontes utilizadas conseguiram suprir a exigência da cultura em Cu, ao contrário do ocorrido para B, onde a análise de folhas revela concentrações do elemento acima do valor crítico recomendado pra a cultura (Tabela 8).

Como as concentrações de B, Cu, K, Mg e Fe no solo e nas folhas não foram alteradas, pode-se dizer que os referidos elementos não influenciaram nos resultados obtidos com as fontes fosfatadas utilizadas (Tabelas 8 e 9). Assim sendo, os teores de B e Cu presentes nas fontes MAP e NPK, também foram impossibilitados de serem utilizados como parâmetros comparativos destas fontes com SPS e SPT.

Conforme expresso na Tabela 10, quando aplicadas no sulco de semeadura, as fontes testadas foram no mínimo 9% mais eficientes que a fonte-padrão (SPT). Já com a aplicação a lanço sem incorporação, o maior IEA atingido foi apenas 7% superior à fonte-padrão (SPT). Contudo, MAP, NPK e SPS apresentaram IEAs maiores que SPT, independentemente da forma de aplicação das mesmas. Na média, MAP foi 9% mais eficiente que SPT, seguida de NPK e SPS (ambos com IEA = 108%).

Tabela 10. Índice de eficiência agrônômica de fosfatos solúveis quanto a produtividade da soja. Uberlândia – MG, 2005

Fonte	IEA (%)		
	Lanço	Sulco	Média
MAP	104	114	109
NPK	107	109	108
SPS	101	116	108
SPT *	100	100	100

\* fonte padrão

Com relação à produtividade da soja, a fonte MAP (mistura granulada de monoamônio fosfato enriquecido com enxofre e micronutrientes), mostrou-se 4% e 14% mais eficiente que SPT (superfosfato triplo), quando aplicada respectivamente, a lanço em área total sem incorporação e incorporado no sulco de semeadura (Tabela 10). Atualmente, alguns produtores vêm utilizando o fosfato monoamônico na adubação de semeadura da soja, em substituição às fontes de fósforo tradicionalmente utilizadas: formulações N-P-K, superfosfato simples e superfosfato triplo. Em geral, utilizam-se da operação de semeadura para aplicação do monoamônio fosfato, de forma incorporada no sulco de semeadura e

posteriormente, numa operação de cobertura, distribuem todo o potássio a lanço em área total sem incorporação. Alegam, acima de tudo, que esta prática é economicamente viável.

Comparando os IEAs do MAP aplicado a lanço em área total sem incorporação e incorporado no sulco de semeadura (Tabela 10), considerando que o solo da área experimental apresentava-se deficiente em enxofre, espera-se que os IEAs obtidos para cada modo de aplicação tendam a se igualarem ou até mesmo serem superiores aos obtidos neste trabalho, caso a referida fonte (MAP) venha a ser utilizada em solos corrigidos quanto a deficiência de enxofre.

Fica evidente que à medida que há maior investimento tecnológico no processamento dos fertilizantes fosfatados solúveis, incorporando macro e micronutrientes num mesmo grânulo, obtêm-se produtos diferenciados ainda mais eficientes que as fontes tradicionais.

## 5 CONCLUSÕES

A aplicação das fontes fosfatadas a lanço em área total, sem incorporação, conferiu maiores produtividades à soja, quando comparada aplicação no sulco de semeadura.

Em termos de produção de grãos, independentemente da forma de aplicação, a eficiência das fontes de fósforo decresceu na seguinte ordem: MAP > NPK = SPS > SPT.

A presença de  $S-SO_4^{2-}$ , foi a principal responsável pelos aumentos na produtividade da soja com a aplicação das fontes MAP, NPK e SPS, quando comparados ao SPT.

## REFERÊNCIAS

- BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto de Ciências Agrônomo, 1985. 48p. (Boletim Técnico, 78).
- BEDIN, I.; FURTINI NETO, A.E.; RESENDE, A.V.; FAQUIN, V.; TOKURA, A.M.; SANTOS, J.Z.L. Fertilizantes fosfatados e produção da soja em solos com diferentes capacidades tampão de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.4, p.639-646, 2003.
- BISSANI, C.A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.J.; CAMARGO, F.A. de O. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Gênese, 2004. 328p.
- BORTOLINI, C. G.; PASQUALI, R.M. Incremento de produtividade da soja através da complementação com micronutrientes. XXV REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL. Uberaba, MG. **Resumos...**, agosto, 2003.
- CASAGRANDE, J.C.; ALLEONI, L.R.F.; CAMARGO, O.A.; BORGES, M. Adsorção de fosfato e sulfato em solos com cargas elétricas variáveis. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.51-59, 2003.
- CFSEMG - COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa: SBCS, 1999. 359 p.
- CORREA, J.C.; MAUAD, M.; ROSOLEM, C.A.. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.39, n.12, p.1231-1237, 2004.
- COSTA, A. **Doses e modos de aplicação de calcário na implantação de sucessão soja-trigo em sistema de plantio direto**. 2000. 146p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- COUTINHO, E.L.M.; NATALE, W.; VILLA NOVA, A. S.; SITTA, D.S.X. Eficiência agrônomoica de fertilizantes fosfatados para a cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.26, n.9, p.1393-1399, 1991.
- EMBRAPA SOJA. **Tecnologias de Produção de Soja** - Região Central do Brasil 2005. Sistemas de produção 6. Londrina: EMBRAPA Soja, 2004. 239 p.
- ERIKSEN, J.; ASKEGAARD, M. Sulphate leaching in an organic crop rotation on sandy soil in Denmark. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, New York, v.78, n.1, p.107-114, 2000.
- FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E.; BURMOOD, D.T.; PENNINGTON, J.S. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L) Merrill. **Crop Science**, Madison, v.11, n.6, p.929-931, 1977.

FERREIRA, F.A. **Sistema SISVAR para análises estatísticas**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2000. Disponível em: <http://www.dex.ufla.br/danielff/sisvarmanual.pdf>. Acesso em: 23 de maio de 2006.

GALRÃO, E.Z. Efeito de micronutrientes e do cobalto na produção da soja em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, n.1, p.41-44, 1989.

GONÇALVES, J.L.M.; FIRME, D.J.; NOVAIS, R.F.; RIBEIRO, A.C. Cinética de adsorção de fósforo em solos de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.9, p.107-111, 1985.

HAQ, I.U.; CARLSON, R.M. Sulfur diagnostic criteria for french prune trees. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.16, n.5, p.911-931, 1993.

KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Modos de adubação, absorção de nutrientes e rendimento de milho em diferentes preparos do solo. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.2, p.79-86, 1996.

KUMAR, V.; SINGH, M. Sulfur, phosphorus, and molybdenum interactions in relation to growth, uptake, and utilization of sulfur in soybean. **Soil Science**, Baltimore, v.129, n.5, p.297-304, 1980.

LOPES, A. S. **Micronutrientes, filosofias de aplicação e eficiência agrônoma**. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos, 1999. 70 p. (Boletim Técnico, 8).

LOPES, A.S.; ABREU, C.A. Micronutrientes na agricultura brasileira: evolução histórica e futura. In: NOVAIS, R.F.de; ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. (Ed.) **Tópicos em ciência do solo**. v.1. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.265-298.

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

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ed. Agr. Ceres, 2006. 638 p.

MANN, E.N.; REZENDE, P.M.de; MANN, R.S.; CARVALHO, J.G.de; VON PINHO, E.V.deR. Efeito da aplicação de manganês no rendimento e na qualidade de sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.37, n.12, p.1757-1764, 2002.

MARSCHNER, H. Mechanisms of adaptation of plants to acid soils. **Plant and Soil**, The Hague, v.134, n.1, p.1-20, 1991.

MIELNICZUK, J.; RHEINHEIMER, D.S.; VEZZANI, F.M. Interações fertilidade e conservação do solo. In: FERTBIO 2000. Santa Maria: SBCS, 2000. **Resumos...** (CDRom). 15p.

MODEL, N.S.; ANGHINONI, I. Resposta do milho a modos de aplicação de adubos e técnicas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, p.55-59, 1992.

MOTOMIYA, W.R.; FABRICIO, A.C.; MARCHETTI, M.E.; GONÇALVES, M.C.; ROBAINA, A.D.; NOVELINO, M.E. Métodos de aplicação de fosfato na soja em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.39, n.4, p.307-312, 2004.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e plantas em condições tropicais**. Viçosa: UFV DPS, 1999. 399p.

OLIVEIRA, F.H.T.; NOVAIS, R.F.; ALVARES, V.H.; CANTARUTTI, R.B.; BARROS, N.F. Fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M. (Ed.) **Tópicos em ciência do solo**. v.2. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p.393-486.

PROCHNOW, L.I.; ALCARDE, J.C.; CHIEN, S.H. Eficiência agronômica dos fosfatos totalmente acidulados. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. (Ed.) **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 605-663.

RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Potafos, 1991. 343p.

RHEINHEIMER, D.S.; GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J.; ROBAINA, A.D.; ANGHINONI, I.; FLORES, J.P.C.; HORN, D. **Situação da fertilidade dos solos no Estado do Rio Grande do Sul**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Solos, 2001. 41p. (Boletim técnico, 2).

RHEINHEIMER, D.S.; RASCHE, J.W.A., OSORIO FILHO, B.D.; SILVA, L.S.da. Resposta à aplicação e recuperação de enxofre em cultivos de casa de vegetação em solos com diferentes teores de argila e matéria orgânica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.2, p.363-371, 2007.

SEDIYAMA, T., PEREIRA, M.G., SEDIYAMA, C.S.; GOMES, J.L.L. **Cultura da soja**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1993. 96p. part. 1.

SILVA, F.C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. p.13-48.

STEWART, B.A.; PORTER, L.K. Nitrogen-Sulfur relationships in wheat (*Triticum aestivum* L.), corn (*Zea mays*), and beans (*Phaseolus vulgaris*). **Agronomy Journal**, Madison, v.61, n.2, p.267-271, 1969.

SOLOMON, D.; LEHMANN, J.; LOBE, I.; MARTINEZ, C.E.; TVEITNES, S.; DU PREEZ, C.C.; AMELUNG, W. Sulphur speciation and biogeochemical cycling in long-term arable cropping of subtropical soils: evidence from wet-chemical reduction and S K-edge XANES spectroscopy. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.56, p.621-634, 2005.

TERUEL, D.A.; DOURADO-NETO, D.; HOPMANS, J.W.; REICHARDT, K. Alterações estruturais do sistema radicular de soja em resposta à disponibilidade de fósforo no solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, n.1, p.55-60, 2001.

TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D. **Soil fertility and fertilizers**. 4 ed. New York: Macmillan, 1995. 754p.

VENTIMIGLIA, L.A.; COSTA, J.A.; THOMAS, A.L.; PIRES, J.L.F. Potencial de rendimento da soja em razão da disponibilidade de fósforo no solo e dos espaçamentos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.34, n.2, p.195-199, 1999.

VITTI, G.C.; TREVISAN, W. **Manejo de macro e micronutrientes para alta produtividade da soja**. Piracicaba: Potafós, 2000. 16p. (Informações Agronômicas, 90).