

**EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO FOSFATADA
COM DIFERENTES FONTES E SATURAÇÕES
POR BASES NA CULTURA DA SOJA**

FERNANDE LUÍS PIAIA

2000

FERNANDE LUÍS PIAIA

**EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO FOSFATADA COM DIFERENTES
FONTES E SATURAÇÕES POR BASES NA CULTURA DA SOJA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração Fitotecnia, para obtenção do título de "Mestre".

Orientador:

Prof. Pedro Milanez de Rezende

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2000

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Piaia, Fernando Luís

Eficiência da adubação fosfatada com diferentes fontes e saturações por bases na cultura da soja / Fernando Luís Piaia. -- Lavras : UFLA, 2000.

43 p. : il.

Orientador: Pedro Milanez de Rezende.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Soja. 2. Fósforo. 3. Adubação. 4. Saturação por bases. 5. Mistura. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-633.34895
-631.85

FERNANDE LUÍS PLAIA

**EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO FOSFATADA COM DIFERENTES
FONTES E SATURAÇÕES POR BASES NA CULTURA DA SOJA**


Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração Fitotecnia, para obtenção do título de "Mestre".

APROVADA em 22 de agosto de 2000

Prof. Antonio Eduardo Furtini Neto UFLA

Prof. João Batista Donizeti Corrêa UFLA

Prof. Luiz Arnaldo Fernandes UFMG


Prof. Pedro Milanez de Rezende
UFLA
(Orientador)
LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

Aos meus pais, Genor e Angelina, pelo amor, carinho e apoio em todas as etapas de minha vida;

Aos meus irmãos, Edilson, Eduardo e Paulo, e minhas cunhadas Claudirene, Maria e Samara, à minha irmã Rosane, e ao meu cunhado Sady, pelo apoio e amizade;

À minha sogra, Maria Elza, sua filha, Alcilene, e seus pais, Geraldo e Marta, pela convivência, apoio, carinho e amizade;

Aos meus avós, Segundo (in memorian) e Etelvina, e Joana (in memorian), pelo amor e carinho;

AGRADEÇO E OFEREÇO.

À minha esposa, Alessandra e meu filho, Vinícius, pelo amor, carinho, compreensão e apoio nesta etapa de vida.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela força nos momentos mais difíceis.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Agricultura (DAG), pela oportunidade concedida para a realização deste curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos.

Em especial ao professor e amigo Pedro Milanez de Rezende, pela apoio constante e ensinamentos transmitidos, os quais não se restringiram à vida acadêmica.

Ao professor Antonio Eduardo Furtini Neto, pelos esclarecimentos e valiosas sugestões, que muito contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao professor João Batista Donizeti Corrêa pela presença e pelas contribuições durante o curso.

Ao professor Luiz Arnaldo Fernandes pelas sugestões e contribuição à realização deste trabalho.

Ao professor Emérito da UFLA, Alfredo Scheid Lopes, pelas sugestões e pelo exemplo de trabalho e dedicação.

Aos amigos Ademir, Alessandro, André, Edivandro e Fernando Corte, Marcelo, Eliseu, Élberis, Hamilton, Júlio, Geraldo César e Fábio e Eduardo pela solidariedade, companheirismo e convivência, minha gratidão.

Aos funcionários da Biblioteca Central da UFLA.

A todo o corpo docente, discente e funcionários do Departamento de Agricultura.

E a todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	i
ABSTRACT	ii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1 Aspectos gerais dos solos sob cerrados	3
2.2 Calagem	3
2.3 Fósforo	6
2.4 Misturas de fontes de fósforo	10
2.5 Fósforo na planta	11
3 MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1 Caracterização do solo	14
3.2 Delineamento experimental e tratamentos	15
3.3 Montagem e condução do experimento	16
3.4 Variáveis analisadas	18
4 RESULTADO E DISCUSSÃO	20
4.1 Características da planta	20
4.1.1 Altura da planta	20
4.1.2 Matéria seca da parte aérea no florescimento	22
4.2 Matéria seca dos grãos	24
4.3 Teores e níveis crítico de fósforo nas planta de soja	27
4.4 Nutrição em macro e micronutrientes	30
4.5 Eficiência agrônômica	33
5 CONCLUSÕES	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

RESUMO

PIAIA, Fernando Luis. **Eficiência da adubação fosfatada com diferentes fontes e saturações por bases na cultura da soja.** Lavras: UFLA, 2000. 43p. (Dissertação - Mestrado em Agronomia, área de Fitotecnia)*

Conduziu-se um experimento em casa de vegetação no Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras, objetivando avaliar a resposta da soja à adubação fosfatada com diferentes fontes e saturação por bases. Empregou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado com três repetições em esquema fatorial (2x6) compreendendo; duas saturações por bases (50 e 65%) e seis doses de P solúvel (0; 107,52; 158,59; 184,16; 209,68 e 260,79 mg de P dm⁻³) provenientes do somatório do P solúvel das seguintes misturas percentuais de fosfato natural de Gafsa (100; 66,66; 50; 33,33 e 0%) e de superfosfato triplo (0; 33,33; 50; 66,66 e 100%) para fornecer 280 mg de P dm⁻³, num Latossolo Amarelo Distrófico (LAd) do município de Baixa Grande do Ribeiro (PI). Após calagem com calcário dolomítico e adubação básica o solo foi incubado por 30 dias, recebendo a seguir a adubação fosfatada e permanecendo incubado por mais 30 dias, posteriormente foi efetuado a semeadura. Cada parcela foi constituída por um vaso com cinco dm³ de solo, nos quais foram cultivados quatro plantas de soja, tendo duas sido colhidas no florescimento, nas quais avaliaram-se os teores de nutrientes na matéria seca, a produção de matéria seca e a altura, e nas duas plantas restantes, avaliou-se a matéria seca de grãos no final do ciclo. As misturas de fósforo utilizadas em função de diferentes fontes constituíram alternativa de fornecimento de fósforo à soja. Os melhores resultados foram obtidos com a saturação por bases de 50% e proporções de superfosfato triplo e fosfato natural de Gafsa próximas de 50%. Nesta condição observou-se melhor eficiência agrônômica da fertilização fosfatada.

* Comitê Orientador: Pedro Milanez de Rezende - UFLA (Orientador), Antonio Eduardo Furtini Neto - UFLA.

ABSTRACT

PIAIA, Fernande Piaia. Efficiency of the phosphate fertilization with differents sources and basis saturations on soybean crop. Lavras: UFLA, 2000. 43p. (Dissertation - Master Program in Agronomy)*

An experiment was conducted in greenhouse at the Department of Agriculture of the Universidade Federal de Lavras (Federal University of Lavras), aiming to evaluate the response of soybean to phosphorus fertilization with differents sources and basis saturations. The experiment was completely randomized design with three replicates in factorial scheme (2 x 6): two levels of basis saturations (50 and 65%) and six rates of soluble P (0; 107.52; 158.59; 184.16; 209.68 and 260.79 mg of P dm⁻³) coming from the summation of soluble P of the following percent mixtures of natural Gafsa phosphate (100; 66.66; 50; 33.33 and 0%) and of triple superphosphate (0; 33.33; 50; 66.66 and 100%) to furnish 280 mg of P dm⁻³. The experiment was conducted in a Distrophic Yellow Latosol (LAd) of the town of Baixa Grande do Ribeiro (PI). After liming with dolomitic limestone and apply maintenance fertilization, the soil was incubated during 30 days. After that the pots receive the phosphate fertilization and remained incubated for over 30 days, afterwards sowing was accomplished. Each plot consisted of a pot containing 5 dm³ of soil in which were cultivated four soybean plants per pot, two of them were harversted at blooming to evaluate nutrient contents in the dry matter, dry matter yield and height in the two other plants, the grain dry matter in the late cycle was evaluate. The mixtures of phosphorus utilized in terms of differents sources came to be alternatives of supplying phosphorus to soybean. The best results were obtained through the basis saturation of 50% and ratios of triple superphosphate and natural Gafsa phosphate close to 50%. Under these conditions, better agronomic efficiency of phosphorus fertilization was observed.

* Guidance Committec: Pedro Milanez de Rezende - UFLA (Major Professor), Antonio Eduardo Furtini Neto - UFLA.

1 Introdução

A área sob vegetação de cerrado ocupa, aproximadamente 23% da superfície do País, sendo a maioria dos solos pertencente à classe dos Latossolos e Podzólicos, que possuem sérias limitações à produção de alimentos, devido à acidez e a baixa fertilidade natural. Assim como relatado acima a área de cerrado do Estado do Piauí com uma área de 9,2 milhões de hectares, predominantemente Latossolos e Podzólicos, ocupa 29% do total dos cerrados do Nordeste do Brasil e Norte de Minas Gerais (França, 1996). Esta região possui alta probabilidade de ocorrência de veranicos, o que normalmente interfere no processo de correção da fertilidade do solo, visando incorporá-los à produção de grãos. Para um desenvolvimento normal da cultura, nessa situação, práticas como a calagem e fosfatagem corretiva tomam-se necessárias, visando construir a fertilidade do solo.

A fonte de fósforo a ser utilizada deve apresentar solubilidade gradual, porém completa e apresentar alta eficiência, ou seja, máxima produção por unidade de nutriente aplicado. Outro ponto a considerar é a preocupação do ponto de vista estratégico para o País, já que as matérias primas utilizadas na produção de fertilizantes fosfatados são recursos naturais não renováveis, escassos e sem sucedâneo, tendo o Brasil apenas 2 a 3% das reservas mundiais de fósforo (Magalhães, 1993 e Lopes, Guilherme e Marques, 1999). Vários trabalhos já foram realizados nas regiões dos cerrados com fosfatos naturais reativos, como o Gafsa, Arad, Daoui, entre outros, porém, quase na sua totalidade são enfocados separadamente, sem considerar as interações possíveis de misturas com fosfatos acidulados para o suprimento de fósforo para as plantas. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência da adubação fosfatada, proveniente de diferentes proporções de fosfato natural de Gafsa e

superfosfato triplo, na cultura da soja em um Latossolo Amarelo Distrófico (LAd) fase cerrado sob duas saturações por bases.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aspectos gerais dos solos sob cerrados

Os cerrados ocupam atualmente posição de destaque no cenário agrícola nacional, pois apesar de apresentarem solos ácidos e baixa disponibilidade de nutrientes, apresentam condições edafoclimáticas favoráveis ao desenvolvimento das culturas e relevo plano de fácil mecanização.

A calagem nestes solos é prática indispensável pois além de minimizar o efeito da acidez, melhora as condições químicas e biológicas, favorece o desenvolvimento do sistema radicular e aumenta a absorção de nutrientes e água, principalmente. Por outro lado, deve-se evitar o excesso de calagem para não indisponibilizar nutrientes tais como, o zinco, o cobre e, principalmente, o manganês (Faquin, 1994; Malavolta, Vitti e Oliveira, 1997).

4 A baixa disponibilidade de fósforo é, geralmente, a maior limitação ao crescimento das plantas, sendo agravada pela alta capacidade dos solos em adsorver esse elemento, que através de reações com componentes do solo forma compostos de baixa solubilidade, dificultando a manutenção de fósforo disponível na solução do solo. De um modo geral, as plantas têm capacidade de absorver somente o fósforo que está presente na solução do solo (Feitosa, 1982). Por isso, em solos não corrigidos são necessárias altas doses de fertilizantes fosfatados para ressuprir ou tamponar a concentração da solução do solo, à medida que as plantas absorvem o fósforo.

2.2 Calagem

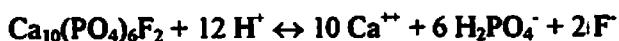
O pH do solo, índice que indica o grau de acidez do solo, talvez seja, isoladamente, um dos atributos mais importantes ligados ao uso eficiente de

fertilizantes. Notadamente, a disponibilidade de nutrientes contidos no solo, ou a ele adicionado através das adubações, é bastante variável em função do pH do solo (Faquin, 1994; Malavolta, Vitti e Oliveira, 1997). A disponibilidade dos nutrientes, nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre, cálcio, magnésio e boro, tende a aumentar, passando de baixa sob condições de acidez e atingindo valores máximos próximos a pH 7,0, enquanto o aumento na disponibilidade de cloro e molibdênio é praticamente linear até pH 8,0. Por outro lado, a disponibilidade de ferro, cobre, manganês e zinco é maior sob condições ácidas, diminuindo com a elevação do pH. O ponto relevante é que os efeitos do pH enfatizam a necessidade de se buscar um meio termo de máxima eficiência. Desta maneira, Rosolem e Marcello (1998) encontraram maior teor de cálcio e menor teor de zinco e manganês em saturações por bases maiores. No entanto, segundo os autores, nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio, não foram influenciados significativamente pela saturação por bases.

A calagem prévia dos solos ácidos, além de provocar aumento da saturação por bases, pH, cálcio e magnésio, promove a neutralização do alumínio e de grande parte do ferro e do manganês, aumentando a atividade biológica e a eficiência dos fertilizantes, resultando ainda em diminuição na capacidade de fixação via precipitação do fósforo, favorecendo conseqüentemente o desenvolvimento vegetal (Goedert, 1985; Sousa et al., 1989; Volkweiss et al., 1992; Lopes e Guilherme, 1992; Vale et al., 1997a; Emani et al., 1996). Nahas, Centurion e Assis (1994) verificaram que o índice de pH correlacionou-se diretamente com o fósforo disponível, numa indicação de que o aumento dos valores de pH favorece o processo de mineralização e a disponibilidade de fósforo. Concordando com esses autores, Rajj e Quaggio (1990) citados por Rajj (1997) e Natale e Coutinho (1994), obtiveram maior teor de fósforo nas folhas seguido de maior produção da cultura da soja, com o aumento do pH, usando uma fonte de fósforo solúvel em água. Por sua vez

Kliemann, Costa e Silva (1997), cultivando soja durante três anos num Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, encontraram aumento de produção devido à aplicação de doses crescentes de superfosfato simples e calcário. O calcário aumentou a eficiência do superfosfato simples; no entanto, quantidades excessivas de calcário diminuíram a produtividade. Da mesma maneira, Volkweiss et al. (1992) relatam que a calagem pode aumentar a eficiência de fontes de P solúveis, porém o aumento linear das doses de calcário não reflete aumento linear do rendimento de grãos de soja. Rosolem e Marcello (1998), testando doses de P solúvel em diferentes saturações por bases, 45, 50 e 75%, não obtiveram diferenças significativas, entre as saturações por bases, para o teor de P na matéria seca e para a produção de matéria seca da parte aérea da soja cultivada em vasos.

A aplicação dos fosfatos de rocha não altera a acidez do solo, mas o inverso é desejável, isto é, a acidez e alta capacidade tampão do solo atua sobre os fosfatos de rocha de baixa solubilidade, devido à presença de ácidos orgânicos e outros, aumentando a sua taxa de solubilização, apresentando maior eficiência (Vale et al., 1997a; Souza, 1997). Nesta condição, a dissolução de um fosfato natural aplicado ao solo é afetada pelo pH e concentrações de cálcio e fósforo no solo, de acordo com a seguinte reação:



Com o pH do solo próximo da neutralidade, ou seja pH 7, reduz-se significativamente a dissolução, sendo mais intensa quanto maior for a acidez (Sousa et al., 1999). A influência negativa do cálcio na dissolução do fosfato natural de Carolina do Norte através da aplicação de CaCO_3 em quantidades equivalentes a SrCO_3 , com valores semelhantes de pH final, resultando em menor produção de matéria seca do milho com a maior concentração de cálcio na solução é discutida por Khasawneh e Doll (1978). Por sua vez, Vitorino et al. (1998), utilizando Latossolo Roxo, com soja em casa de vegetação e três

fosfatos naturais reativos, também observaram que o maior teor de cálcio no solo reduziu a taxa de dissolução do fosfato natural, seguindo uma redução na produção de matéria seca nos tratamentos com fosfato natural de Gafsa e da Carolina do Norte, quando os valores de saturação por bases foram 70 e 80%, enquanto para valores de 30% a 60% a eficiência destes fosfatos foi maior e com produção semelhante à produção com superfosfato triplo. Rein, Sousa e Lobato (1997), observaram que não houve efeito significativo da calagem, pH em CaCl_2 e saturação por bases de 4,5 e 24%; 4,9 e 35% e 5,2 e 47%, na eficiência do fosfato natural da Carolina do Norte durante três cultivos sucessivos de soja no campo.

2.3 Fósforo

Esse elemento é de grande importância na cultura da soja, sendo responsável pela maioria das respostas significativas no rendimento. Trabalhos de vários pesquisadores têm mostrado resultados positivos à sua aplicação na cultura da soja nas mais diferentes formas (Ferreira e Kaminski, 1979; Smyth e Sanchez, 1982; Kliemann, Costa e Silva, 1997; Rosolem e Marcello, 1998). Entre essas, utilizações dos fosfatos naturais reativos têm ocupado posição de destaque como sucedâneos às aplicações de fontes mais solúveis.

Os fosfatos naturais reativos, tais como o fosfato natural de Gafsa, são de origem sedimentar, encontradas em áreas desérticas de clima seco, onde predominam apatitas com alto grau de substituições isomórficas de fosfato por carbonato, resultando em cristais imperfeitos, com grande porosidade que lhes confere um menor peso específico e, conseqüentemente, maior área superficial, podendo ser facilmente hidrolizados, sendo, por isso, conhecidos como fosfatos moles e de grande reatividade (Peruzzo, Pöttker e Wiethölter, 1997).

Segundo Novais e Smyth (1999), o ideal seria ter um produto com solubilidade homogeneamente intermediária, entre fosfatos naturais de baixa reatividade e fosfatos acidulados de liberação rápida de fósforo para o meio, semelhante aos termofosfatos e fosfatos mais reativos como o Gafsa, Arad, Daoui, Carolina do Norte, etc. Desta maneira, os fosfatos naturais de alta reatividade na forma moída (farelada), comercializados no Brasil desde o início da década de 90, apresentam-se como excelente fontes de fósforo ao sistema. Trabalhos de Sousa, Rein e Lobato (1999), utilizando como fontes de fósforo o fosfato natural de Gafsa, verificaram após quatro cultivos de soja, num Latossolo Vermelho Escuro muito argiloso sob cerrado, rendimentos de grãos semelhantes aos obtidos com superfosfato triplo.

Para quantificar a eficiência de fontes de fósforo, Goedert, Sousa e Rein (1986), sugerem o uso, dentre outros, do Índice de Eficiência Agronômica (IEA), que reflete o aumento percentual de produção proporcionado pelo fosfato natural em relação ao aumento proporcionado pelo superfosfato triplo, técnica que foi utilizada em trabalhos de Rajj (1986) e Souza (1997).

Na avaliação da eficiência do fosfato da Carolina do Norte para a cultura da soja aplicado em Latossolo Vermelho Escuro textura argilosa, na forma como é comercializado e na forma finamente moído (pó), a lanço e incorporado e aplicado no sulco, observa-se que, no segundo cultivo, feito um mês após a colheita do primeiro cultivo, houve uma inversão dos resultados. O fosfato aplicado na forma comercial, com uma granulometria mais grosseira, proporcionou rendimentos superiores, tanto aos do superfosfato triplo quanto aos do fosfato em pó. Este comportamento se repetiu no terceiro ano, indicando ter havido dissolução de todo o P do fosfato natural (Rein, 1994). Esses resultados concordam com os obtidos por Braga et al. (1991), que constataram uma eficiência agronômica de 70% no primeiro cultivo, e, nos demais cultivos essa eficiência foi maior que 100%. Oliveira et al. (1984), observou, numa sucessão

de cultivos de milho-trigo-soja-trigo, superioridade do fosfato ao superfosfato triplo, em alguns cultivos. Desta maneira, a eficiência agrônômica desses fosfatos é razoável no primeiro ano da aplicação com aumento a partir do segundo, (efeito posterior) (Tisdale, Nelson e Beaton, 1993; Souza, 1997).

O fosfato natural de Gafsa, devido a sua reatividade apresenta uma eficiência similar ao superfosfato triplo, quando aplicado a lanço em área total e incorporado (Cordeiro, Pottker e Borkert, 1979; Goedert e Lobato, 1984; Coutinho et al., 1991; Lopes, Guilherme e Marques, 1999). Peruzzo, Pöttker e Wiethölter (1997), obtiveram produção de grãos de soja com fosfatos naturais de Gafsa e Arad semelhantes ao superfosfato triplo no primeiro cultivo. Da mesma maneira, Lantmann (1998) citado por Peruzzo e Wiethölter (1999), verificou rendimento de grãos de soja semelhantes ao obtido com superfosfato triplo no primeiro cultivo num solo com teor médio de P, utilizando fosfatos naturais reativos. Goedert e Lobato (1980), com trigo no primeiro cultivo obtiveram rendimento do fosfato natural de Gafsa semelhante ao superfosfato triplo.

Basicamente os fosfatos naturais devem ser aplicados a lanço e incorporados, e se possível usado na forma de pó fino em solos ácidos, para que se aumente o contato do solo com o adubo e assim aumentando a sua solubilização (Raij, 1986; Rein, 1994; Souza, 1997).

Por outro lado, Fried et al. (1957), citado por Miranda (1976), empregando um processo de lixiviação para estimar a taxa de formação do P em solução em três solos, observaram que a liberação do íon fosfato da fase sólida foi no mínimo de 13 a 15 kg ha⁻¹ hora⁻¹, sendo pelo menos 250 vezes maior que a taxa de absorção do nutriente pelas plantas, concluindo que a absorção de P seria limitada pela absorção pela planta, que no sistema solo é dependente da concentração do nutriente próximo à superfície das raízes.

R2 { Assim, quando adubos fosfatados solúveis são aplicados ao solo, aumenta-se rapidamente a concentração de fósforo na solução, ocasionando

2
aumento do fósforo lábil (disponível), o qual está em equilíbrio com o fósforo em solução. A maior parte do fósforo é adsorvida pela fase sólida do solo ou se precipita, formando compostos menos solúveis. Quando adsorvido, parte permanece como fósforo lábil, em equilíbrio com o fósforo da solução, ocorrendo com o tempo um envelhecimento e adquirindo uma constituição mineralógica mais estável e de solubilização mais difícil. Todavia, uma parte é adsorvida como fósforo não lábil (indisponível) e o seu aproveitamento pelas plantas é incerto (Goedert, 1985; Rajj, 1991; Komdörfer, Cabezas e Anderson, 1995).

2
A velocidade da passagem do fósforo lábil para fósforo não lábil também depende da fonte deste nutriente. Arndt, McIntyre (1963) citado por Stefanutti (1991) verificaram este efeito para o superfosfato e rocha fosfatada, obtendo um decréscimo linear para a rocha fosfatada e logarítmico para a outra fonte. Do mesmo modo, Rajj e Diest (1980), observaram diminuição no acúmulo de fósforo, proveniente de superfosfato triplo, nas plantas de soja, quando cultivada após setenta e cinco dias de incubação em relação a incubação por apenas três dias e para o hiperfosfato (fosfato natural de Gafsa) não observaram diminuição no acúmulo de P, neste mesmo período.

2
Resultados similares foram verificados por Sousa e Volkweiss (1991), que avaliando o efeito residual do superfosfato triplo num Latossolo Vermelho Amarelo argiloso, nas doses de 200 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ em pó e granulado nos sistemas convencional e sem preparo do solo, de uma maneira geral, obtiveram valores residuais do superfosfato triplo de 58, 44, 35, 15 e 5% para o primeiro, segundo, terceiro, quarto e quinto ano após a aplicação do fertilizante ao solo respectivamente. Esses resultados justificam a maior eficiência agrônômica dos fosfatos reativos a partir do segundo cultivo, mesmo que estes apresentem uma menor produção em relação ao primeiro, visto que, esta produção, assim mesmo, deverá ser semelhante ou maior que a produção do residual de fontes solúveis,

R₂ { como superfosfato triplo. Estes resultados mostram que estas fontes podem ser tão efetivas como o superfosfato triplo, desde que uma imediata utilização de P, adicionada ao solo, não seja requerida. } 7

2.4 Mistura de fontes de fósforo

Por ocasião da abertura de novas áreas para a produção de grãos, deve-se efetuar uma aplicação de adubação fosfatada corretiva a lanço, para suprir o solo em fósforo e posteriores adubações de manutenção no sulco de plantio para atendimento mais direto e imediato das plantas (Lopes e Guilherme, 1992; Vale et al., 1997b). Nota-se uma vantagem na aplicação de adubação corretiva total a lanço e incorporação do adubo à camada arável, para proporcionar um maior volume de solo corrigido, a fim de promover um sistema radicular mais volumoso e conseqüentemente maior eficiência na absorção de água e nutrientes pelas plantas (Goedert, 1985; Sousa, Lobato e Miranda, 1993).

Trabalhos neste sentido têm sido realizados por diversos pesquisadores. Smyth e Sanchez (1982) combinando 352 kg P ha⁻¹ na forma de fosfato de Patos de Minas a lanço mais 44 kg P ha⁻¹ na forma de superfosfato triplo na linha de plantio, constataram 81 e 96% da produção relativa, para o primeiro e segundo cultivo de soja, respectivamente, o que representou um custo relativo de 50% quando comparado com 352 kg P ha⁻¹ aplicado como superfosfato triplo a lanço. Isso demonstrou a eficiência do fosfato natural aplicado a lanço combinado com fosfato solúvel na linha de plantio para obter altas produções de soja no experimento em questão, com economia significativa de custo. Por sua vez, Pedroso Neto e Tanaka (1988), utilizando 100 kg P₂O₅ ha⁻¹ através de superfosfato triplo, verificaram que a aplicação no sulco atingiu 91% da produção quando à fosfatagem corretiva foi efetuada com fosfato natural de Patos de Minas em relação a fosfatagem corretiva com superfosfato triplo.

Cordeiro et al., (1979) cultivando soja durante dois anos, na dose de 160 kg P_2O_5 ha⁻¹, obtiveram 84 e 100% de eficiência relativa do fosfato natural de Gafsa em relação ao superfosfato triplo, para o primeiro e segundo ano. A utilização de 70 kg P_2O_5 ha⁻¹ na forma de superfosfato triplo como manutenção em área corrigida com fosfato natural de Gafsa proporcionou maior produção em relação a correção com superfosfato triplo na dose de 160 kg P_2O_5 ha⁻¹.

2.5 Fósforo na planta

Para a cultura da soja, o fósforo e o cálcio encontram-se entre os nutrientes que apresentam as maiores limitações nutricionais ao crescimento (Lima, 1995). A maioria dos nutrientes são absorvidos a partir da solução do solo e translocados e redistribuídos internamente nas plantas conforme as necessidades metabólicas, funcionais ou estruturais, apresentando grande diferença entre os órgãos de maior acúmulo na planta. Embora haja maior acúmulo de P nos grãos (Malavolta, Vitti e Oliveira, 1997), a deficiência de fósforo pode ser observada também pelo menor porte da planta, seguida de menor produção de grãos (Braga et al., 1980; Tanaka, Mascarenhas e Borkert 1993; Vitti e Luz, 1998). A altura da planta também pode ser influenciada pelo genótipo, por atributos de clima e solo, época de semeadura, população de plantas, adubação e outros (Câmara, 1998).

Ferreira e Kaminski (1979), Muniz et al. (1985), Minhoni (1988) e Rosolem e Marcello (1998), observaram maior teor de P na matéria seca da parte aérea da soja em função de maiores doses de P solúvel, seguidos de maior produção e acúmulo de P na matéria seca. Raij e Diest (1980) observaram resposta linear do acúmulo de P na matéria seca da soja em função de doses crescentes de P solúvel.

Muniz et al. (1985), cultivando soja em casa de vegetação com diferentes solos e doses de P, também encontraram incrementos de P na matéria seca com o aumento das doses de P e constataram relação direta do nível crítico de P com acúmulo de P na matéria seca da parte aérea. O nível crítico do P variou entre os solos, sendo maior para os solos mais arenosos, ou seja, com menor capacidade máxima de adsorção de fósforo, variando de 0,88 g kg⁻¹, no solo mais argiloso, 0,89 g kg⁻¹ no solo mais siltoso a 2,07 g kg⁻¹, no solo mais arenoso. Por outro lado, quando se compara o nível crítico de um nutriente entre diferentes experimentos, observa-se variações que possivelmente, refletem a influência de diversos fatores, como época de cultivo, método utilizado, doses dos outros nutrientes aplicados, idade da planta ou órgão amostrado, época de amostragem, condições de cultivo (campo ou controlada), na maior ou menor concentração do nutriente (Faquin et al., 1995).

Outro aspecto a se considerar é a grande capacidade de absorção de cálcio pela soja, comparativamente ao milho, trigo, capim colchão (*Paspalum plicatum*) e capim meloso (*Melinis minutiflora*), o que lhe confere maior capacidade de solubilização de fosfatos naturais (Rajj e Diest, 1979).

Por outro lado, uma maior absorção de fósforo pela planta, pode acarretar uma menor absorção de outros nutrientes como o zinco, manganês e cobre (Malavolta, Vitti e Oliveira, 1997). Essa diminuição na absorção de nutrientes foi verificada por Minhoni (1988), que observou na matéria seca da parte aérea da cultura da soja no florescimento, cultivada em vasos num Latossolo Vermelho Amarelo com 20% de argila, menor teor de cobre, manganês e zinco em resposta à maior disponibilidade de fósforo provenientes de aplicação de superfosfato triplo, em relação à menor disponibilidade do fósforo proveniente do fosfato natural de Araxá.

R6 { O fosfato natural reativo (fosfato natural de Gafsa, fosfato natural Daoui, fosfato natural Arad, fosfato natural Carolina do Norte, etc), é uma fonte de

26

fósforo, que quando utilizada como corretivo, aplicada a lanço e incorporada ao solo, apresenta-se como uma alternativa de substituição aos fosfatos acidulados. Essa substituição, muitas vezes, no primeiro ano de cultivo após a sua aplicação, apresenta resultados inferiores aos dos fosfatos acidulados, no entanto, em combinação com estes, os resultados no primeiro ano poderão ser semelhantes aos alcançados pelos fosfatos acidulados. Numa condição de solo em que não seja necessário o fornecimento imediato de P pela fertilização, o fosfato natural de Gafsa poderá ser equivalente aos fosfatos acidulados.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na casa de vegetação do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), no município de Lavras (MG) situado a 21°14'S de latitude, 45°00'W de longitude e 918 m de altitude.

3.1 Caracterização do Solo

O material de solo utilizado foi oriundo de um Latossolo Amarelo Distrófico (LAd), não cultivado anteriormente, coletado na camada superficial (0 - 20 cm de profundidade), em área de vegetação de cerrado em relevo plano, no município de Baixa Grande do Ribeiro, PI. O solo foi escolhido por apresentar expressiva representatividade dentre os solos sob cerrados do Piauí (França, 1996). As amostras foram destorroadas, homogeneizadas, peneiradas, secas ao ar e analisadas, sendo os resultados apresentados na Tabela 1.

TABELA 1. Caracterização da camada de 0 - 20 cm do material de solo utilizado no experimento, antes dos tratamentos. UFLA, Lavras-MG, 1999.

pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	S	t	T	m	V
	-- mg dm ⁻³ --		----- cmol _c dm ⁻³ -----				-----			----- % -----	
4,4	2,0	17	0,6	0,2	1,3	5,6	0,8	2,1	6,4	61,9	12,5
S-SO ₄ ²⁻	B	Cu	Zn	Mn	Fe	Arcia	Silte	Argila	M.O.		
-----		mg dm ⁻³ -----				----- g kg ⁻¹ -----					
3,50	0,15	Traços	0,4	1,0	186,2	770	30	200	21		

Ca, Mg e Al = KCl 1 N; P e K = Mehlich 1; (H+Al) = acetato de cálcio 1 N a pH 7,0; S-SO₄²⁻ = turbidimetria; B = água quente; Cu, Fe, Mn e Zn = DTPA.

O pH em água, Ca, Mg, Al, P e K foi determinado conforme Vettori (1969) com modificações da Embrapa (1997). O Cu, Fe, Mn e Zn foi determinado pelo extrator DTPA, ácido dietileno-triaminopentaacético, solução desenvolvida por Lindsay e Norvell (1978). Também foram determinados a

acidez potencial (H + Al) e o carbono orgânico, conforme Raij et al. (1987), e a granulometria do solo foi determinada pelo método de Bouyoucos (Embrapa, 1997).

3.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em um arranjo fatorial 2 X 6. Os tratamentos foram constituídos por saturações por bases (50 e 65%) e pelas doses de P solúvel em ácido cítrico a 2% (0; 107,52; 158,59; 184,16; 209,68 e 260,79 mg de P dm⁻³), com três repetições. As unidades experimentais foram constituídas por vasos plásticos com capacidade de 5 dm³ de solo.

As doses de P solúvel são provenientes do somatório de P solúvel das fontes utilizadas nas seguintes misturas percentuais de fosfato natural de Gafsa (100; 66,66; 50; 33,33 e 0%) e de superfosfato triplo (0; 33,33; 50; 66,66 e 100%), respectivamente, para fornecer 280 mg de P dm⁻³, a partir do P total das fontes empregadas (Tabela 2). A quantidade de fósforo total adicionado ao solo foi determinado através da metodologia do P-remanescente (Alvarez et al., 2000) na dosagem relacionada acima.

TABELA 2. Superfosfato triplo (ST) e fosfato natural de Gafsa (FNG) empregados na obtenção de doses de P solúvel em ácido cítrico a 2%. UFLA, Lavras-MG, 1999.

Trat.	% de P na forma de		Quantidade dos adubos fosfatados		Quantidade de P	
	ST	FNG	ST	FNG	Solúvel ¹	Total
N.º	%		mg dm ⁻³			
1	00,00	00,00	0	0	00,00	0
2	00,00	100,00	0	2.052	107,52	280
3	33,33	66,66	486	1.368	158,59	280
4	50,00	50,00	728	1.026	184,16	280
5	66,66	33,33	971	684	209,68	280
6	100,00	00,00	1.457	0	260,79	280

As análises química e granulométrica dos fertilizantes fosfatados estão descritas na Tabela 3.

TABELA 3. Características dos adubos fosfatados. UFLA, Lavras-MG, 1999.

Produto ¹	P ₂ O ₅ %		Ca %	Natureza física	% passante peneira (mm)				
	Total	Sol. ²			0,25	0,71	2,0	4,76	>4,76
ST	44,02	41	30	Granulado	-	0,07	32,49	66,78	0,66
FNG	31,25	12	35,7	Farelado	74,18	14,80	6,56	3,64	0,82

¹ Superfosfato triplo (ST) e fosfato natural de Gafsa (FNG).

² Solúvel em ácido cítrico a 2%.

3.3 Montagem e condução do experimento

Para elevar a saturação por bases aos valores de 50% e 65%, foi efetuada a calagem 60 dias antes do plantio, através da aplicação de calcário dolomítico com 38,6% de CaO, 14% de MgO e PRNT de 100%, sendo as doses estabelecidas por curva de incubação. Os solos após a calagem permaneceram incubados com umidade equivalente a 60% do VTP (volume total de poros) durante 30 dias.

A adubação básica foi efetuada juntamente com a aplicação do calcário na forma de reagentes p.a. dissolvidos em água desmineralizada e aplicados ao solo e homogeneizado, e constou de 50 mg de S, 150 mg de K, 0,8 mg de B, 5 mg de Zn, 4 mg de Fe, 3,6 mg de Mn, 1,5 mg de Cu e 0,15 mg de Mo por dm³ de solo, na forma de K₂SO₄, KCl, H₃BO₃, ZnCl₂, FeCl₃.6H₂O, MnCl₂.4H₂O, CuCl₂.2H₂O, (NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O.

Após 30 dias de incubação com calcário e adubação básica, com o solo seco e peneirado, foi efetuada a adubação fosfatada com as fontes e doses de P conforme os tratamentos (Tabela 2). No caso da testemunha, foi adicionado uma quantidade mínima de P (20 mg dm⁻³) com a finalidade de garantir a sobrevivência das plantas até o final do ciclo. Posteriormente o solo permaneceu

incubado por mais 30 dias, com umidade equivalente a 60% do VTP. Após a aplicação dos tratamentos e fertilização básica, o material de solo foi novamente caracterizado quimicamente (Tabela 4).

Após as incubações do calcário juntamente com a adubação básica e a incubação dos tratamentos com fósforo as amostras foram colocadas nos vasos para o cultivo com plantas de soja cv. MG/BR-46 Conquista, sendo a semeadura realizada em janeiro de 1999. Foi realizado desbaste aos 15 dias após a semeadura deixando-se quatro plantas por vaso.

TABELA 4. Caracterização do material de solo da camada de 0 - 20 cm utilizado no experimento, após os tratamentos. UFLA, Lavras-MG, 1999.*

Trat. ¹	pH	P ² Pres. K Ca Mg			Al H+Al S t T m V %								
		mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³					%			
V 50 %													
1	5,4	10	10	140	1,7	1,1	0,1	3,2	3,2	3,3	6,4	3,1	49,7
2	5,5	144	57	129	1,6	0,9	0,1	3,0	2,8	2,9	5,8	3,4	48,5
3	5,4	144	69	119	1,5	1,0	0,2	2,9	2,8	3,0	5,7	6,7	49,2
4	5,5	128	75	125	1,7	1,0	0,2	3,0	3,0	3,2	6,0	6,2	50,2
5	5,5	150	92	133	2,1	0,6	0,1	3,0	3,0	3,1	6,0	3,2	50,3
6	5,3	72	65	119	1,7	0,9	0,1	2,6	2,9	3,0	5,5	3,3	52,8
V 65 %													
1	6,0	11	10	159	2,4	1,7	0	2,1	4,5	4,5	6,6	0,0	68,2
2	6,0	144	51	131	2,3	1,5	0,1	2,1	4,1	4,2	6,2	2,4	66,3
3	6,0	144	108	137	2,4	1,3	0,1	2,1	4,1	4,2	6,2	2,4	65,9
4	5,9	112	105	126	2,1	1,8	0,1	2,2	4,2	4,3	6,4	2,3	65,7
5	6,0	128	97	126	2,6	1,3	0,1	2,2	4,2	4,3	6,4	2,3	65,7
6	5,9	112	121	131	2,6	1,2	0,1	2,3	4,1	4,2	6,4	2,4	64,3

*Análises realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo DCS/UFLA.

¹ Tratamentos: 1, 2, 3, 4, 5 e 6 (0; 107,52; 158,59; 184,16; 209,68 e 260,79 mg dm⁻³)

² P : extrator Mehlich I e P res.: extrator resina.

A cultivar MG/BR 46 Conquista foi escolhida por ser recomendada em vários Estados, MG, MT, GO e DF, sendo relativamente nova no mercado, porém com grande aceitação por parte dos sojicultores.

Preparados os tratamentos, os vasos foram regados com água deionizada para manutenção de umidade equivalente a 60% do VTP. Durante todo o ciclo, a umidade do solo foi mantida em 70% do volume total de poros, através de pesagens periódicas dos vasos, sendo o volume de água evapotranspirada completado com água deionizada.

Embora tenha havido inoculação das sementes, devido à sua baixa eficiência, provavelmente causada pelo tratamento das sementes com fungicidas (Campo e Hungria, 1999), foram efetuadas coberturas com NH_4NO_3 , aplicando-se 50 mg de N dm^{-3} para a testemunha, e 100 mg de N dm^{-3} para os demais tratamentos, parcelados em duas vezes, aos 30 e 45 dias após a emergência. A testemunha recebeu quantidade menor de nitrogênio em relação aos demais tratamentos, pois a mesma se apresentava com porte muito reduzido.

3.4 Variáveis analisadas

Na época do pleno florescimento, foi determinada a altura das plantas e duas plantas por vaso foram colhidas, e secas em estufa com circulação forçada de ar, a 65 - 75° C até atingir peso constante, para determinação da matéria seca da parte aérea (MSPA) e nutrientes na matéria seca. No final do ciclo foi determinada a matéria seca dos grãos após secagem em estufa com circulação forçada de ar, a 65 - 70° C até atingir peso constante. O material vegetal da parte aérea, coletado no florescimento foi moído em moinho tipo Willey, e analisado quimicamente, sendo o N determinado pelo método microkjeldahl; P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn após digestão nítrico-perclórica foram determinados no extrato: P - colorimetria; K - fotometria de chama; S - turbidimetria; Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn através de espectrofotometria de absorção atômica (Malavolta, Vitti e Oliveira, 1997).

As quantidades dos nutrientes acumulados na parte aérea foram calculadas com base no teor dos mesmos nos tecidos e na produção de matéria seca no florescimento.

A eficiência do fosfato natural de Gafsa foi avaliada através do Índice de Eficiência Agronômica (IEA), calculada através da relação percentual entre a produção de matéria seca propiciada pelo fosfato natural de Gafsa e o superfosfato triplo, aplicados na mesma dose, subtraindo-se de ambos a produção de matéria seca do tratamento sem adubação, segundo Goedert, Sousa e Rein (1986), sendo calculada através da seguinte fórmula:

$$IEA (\%) = (Y2 - Y1 / Y3 - Y1) \times 100$$

Onde, Y1 : Produção obtida pelo tratamento onde não houve aplicação de fósforo; Y2 : Produção obtida pela fonte que está sendo testada e Y3 : Produção obtida pela fonte de referência (ST) na mesma dose de P aplicada.

As variáveis estudadas foram submetidas à análise de variância e estudos de regressão, cujas equações foram ajustadas à altura de planta, produção de matéria seca da parte aérea no florescimento, matéria seca de grãos e fósforo na matéria seca, em função das doses de fósforo (P) solúvel em ácido cítrico a 2%, oriundas das somatórias de P solúvel das diferentes fontes nas proporções consideradas. A partir do ajuste das equações foram estimadas as doses de P solúvel necessárias para atingir a produção máxima e 90% da máxima matéria seca de grãos. Em seguida, estas doses foram substituídas nas equações de regressão que relacionam doses de P com seus teores na matéria seca da parte aérea no florescimento, dependentes da saturação por bases, estimando-se assim, os níveis críticos para a produção máxima e 90% da máxima.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características da planta

4.1.1 Altura de planta

De acordo com a Tabela 5, verifica-se que ocorreu efeito significativo dessa característica para a saturação por bases e doses de fósforo.

TABELA 5. Resumo da análise de variância da altura de planta (ALT), matéria seca da parte aérea no florescimento (MSPA) e matéria seca de grãos (MSGR), obtidos no ensaio de misturas de adubos fosfatados e saturações por bases, UFLA, Lavras-MG, 1999.

Causas de Variação	GL	QUADRADO MÉDIO		
		ALT	MSPA	MSGR
Saturação (S)	1	280,283*	1,668	15,920**
Doses (D)	5	426,264**	20,754**	131,288**
S x D	5	82,706	2,386*	2,239
Resíduo	24	45,184	0,762	0,902
C.V. %		8,76	14,82	6,35

* e **: significativo a 5 e 1% pelo teste de F.

Os valores médios obtidos para altura de planta (ALT), em função das doses de P solúvel em ácido cítrico a 2% e saturações por bases de 50 e 65% encontram-se na Tabela 6. A altura de plantas em função das doses de P independentemente da saturação por bases foi significativa a 1% pelo teste F (Tabela 5). Ajustando-se equações de regressão para esta variável em função das doses de P independentemente da saturação por bases observa-se que a altura de plantas aumentam de forma quadrática com os incrementos das doses de P solúvel (Figura 1), porém, não atingiu ponto de máxima (365,75 mg dm⁻³ de P solúvel) com as doses utilizadas. Segundo Braga et al. (1980); Tanaka, Mascarenhas e Borkert (1983) e Vitti e Luz (1998), a altura de planta está

diretamente relacionada à disponibilidade de fósforo para a planta, o que concorda com os valores ora observados.

TABELA 6. Altura da planta (ALT) e matéria seca da parte aérea no florescimento (MSPA) e matéria seca dos grãos (MSGR), obtidos no ensaio de misturas de adubos fosfatados e saturações por bases, UFLA, Lavras-MG, 1999.

Saturação por bases (%)	Doses de P Solúvel (mg dm ⁻³)						Média
	0	107,52	158,16	184,16	209,68	260,79	
----- ALT (cm) -----							
V 50%	60	84	82	83	84	83	79A ¹
V 65%	61	66	71	78	81	84	73B
Média	60	75	76	80	82	83	76
----- MSPA (g planta ⁻¹) -----							
V 50%	2,47	5,89	6,92	6,84	7,63	6,87	6,10
V 65%	2,93	3,22	6,28	7,27	6,82	7,53	5,68
Média	2,70	4,56	6,60	7,05	7,23	7,20	5,89
----- MSGR (g planta ⁻¹) -----							
V 50%	5,49	17,44	17,50	17,93	18,33	17,07	15,63A
V 65%	5,52	13,92	16,52	16,64	16,68	16,50	14,30B
Média	5,50	15,68	17,01	17,29	17,51	16,79	14,96

¹Médias seguidas da mesma letra não apresentam diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Scott & Knott.

De acordo com a Tabela 5, verifica-se que ocorreu efeito significativo da saturação por bases independentemente das doses de P solúvel. A maior altura de planta foi obtida com menor índice de saturação por bases, principalmente influenciada pelo fosfato natural de Gafsa (Tabela 6), o qual nesta saturação é favorecido pela maior eficiência agrônômica do fosfato natural no fornecimento de P às plantas. Trabalhos de vários pesquisadores tem demonstrado que a saturação por bases de 65%, comparativamente à saturação por bases de 50%, constitui-se numa condição de solo com pH e concentração de cálcio relacionadas negativamente à solubilização do fosfato natural de Gafsa (Khasawneh e Doll, 1978; Sousa, 1997; Vitorino et al., 1998). Por outro lado, as saturações por bases utilizadas não diferem quanto à solubilização do

superfosfato triplo, conforme observado por Vitorino et al. (1998) e Rosolem e Marcello (1998).

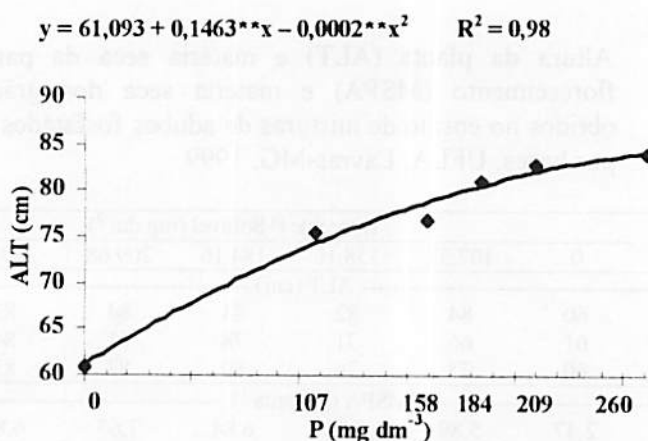


FIGURA 1. Altura de plantas (ALT) da soja em função das doses de P solúvel. UFLA, Lavras-MG, 1999. (**significativo a 1% pelo teste t).

4.1.2 Matéria seca da parte aérea no florescimento

Para a matéria seca da parte aérea no florescimento ocorreu efeito significativo para as doses e interação saturação por bases x doses de fósforo (Tabela 5).

Os valores médios obtidos para matéria seca da parte aérea (MSPA) das plantas de soja no florescimento encontram-se na Tabela 6. Ajustando uma equação de regressão, considerando doses de P solúvel aplicadas e saturações por bases, observam-se os efeitos interativos dos dois fatores na matéria seca estimada (Figura 2). A MSPA aumenta linearmente em função das doses de P na saturação por bases de 65%, enquanto que na saturação por bases de 50%, o aumento da MSPA foi quadrático.

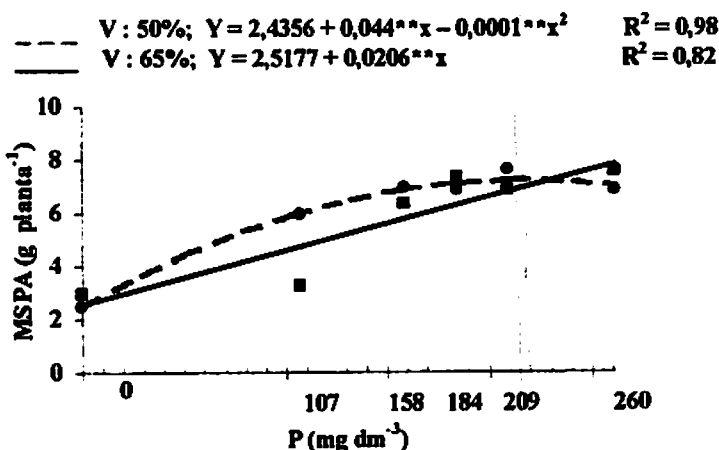


FIGURA 2. Matéria seca da parte aérea (MSPA) da soja, em função de doses de P solúvel e saturação por bases. UFLA, Lavras-MG, 1999. (** significativo a 1% pelo teste t).

Fixando-se a saturação por bases em 50% e variando-se as doses de P solúvel, encontra-se a maior produção de MSPA para a dose de P solúvel de 217 mg dm⁻³, correspondente a 71% de superfosfato triplo na mistura conforme indica a Figura 3. No caso da saturação por bases de 65%, o maior rendimento de MSPA observado foi para a dose de P solúvel, de 260 mg dm⁻³, ou seja, 100% de superfosfato triplo. Observando a Figura 2 verifica-se que o ponto de máxima produção não foi atingido, devido a matéria seca ter aumentado de forma linear com os incrementos da dose de P. Na saturação por bases de 65% há maior necessidade de P solúvel comparativamente à saturação por bases de 50%, o que é explicado pela menor dissolução do fosfato natural de Gafsa em pH e concentração de cálcio maiores na solução do solo (Tabela 4), o que ocorre em função da maior quantidade de corretivo empregada, conforme relatam Khasawneh e Doll (1978) e Sousa (1997). Resultados obtidos por Vitorino et al. (1998), também relatam menor produção de matéria seca de soja, cultivada em vasos com saturação por bases acima de 60% para os fosfatos naturais de Gafsa e fosfato natural da Carolina do Norte.

$$Y = -70,148 + 0,6524^{**}X \quad R^2 = 1$$

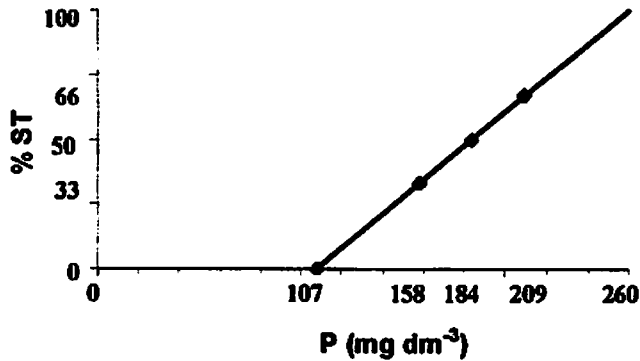


FIGURA 3. Porcentagem de superfosfato triplo (ST) na mistura em função da dose de P solúvel. UFLA, Lavras-MG, 1999. (** significativo a 1% pelo teste t).

4.2 Matéria seca dos grãos

Para a matéria seca dos grãos (Tabela 5) a interação saturação por bases x doses de fósforo não foi significativa ($P < 0,01$).

Os valores obtidos para matéria seca dos grãos (MSGR), cultivados em duas saturações por bases e seis doses de P solúvel, encontram-se na Tabela 6. Ajustando-se equações de regressão para a MSGR como variável dependente das doses de P solúvel, observa-se que os efeitos da dose de P solúvel no incremento na MSGR, segue modelo quadrático, (Figura 4). Verifica-se, independentemente das saturações por bases, acréscimos significativos no rendimento de grãos com a aplicação de P solúvel, o que concorda com relato de vários pesquisadores (Smyth e Sanchez, 1982; Braga et al., 1991; Kliemann, Costa e Silva, 1997).

Para atingir a produção máxima, são necessárias aplicações de elevadas doses de nutrientes. Em casa de vegetação, freqüentemente, consideram-se doses que proporcionam 80 ou 90% do rendimento máximo, como aquelas para as quais espera-se, que proporcionem produções econômicas em condição de

campo (Faquin et al., 1995). Deve-se, portanto, tentar avaliar a fertilidade do solo a fim de se obter o máximo retorno econômico da calagem e dos nutrientes aplicados e também evitar aplicações elevadas onde elas são desnecessárias, neste caso com duplo prejuízo, com o gasto inútil com o fertilizante e com a fonte do nutriente mais cara.

$$Y = 5,6327 + 0,1209^{**}x - 0,0003^{**}x^2 \quad R^2 = 0,99$$

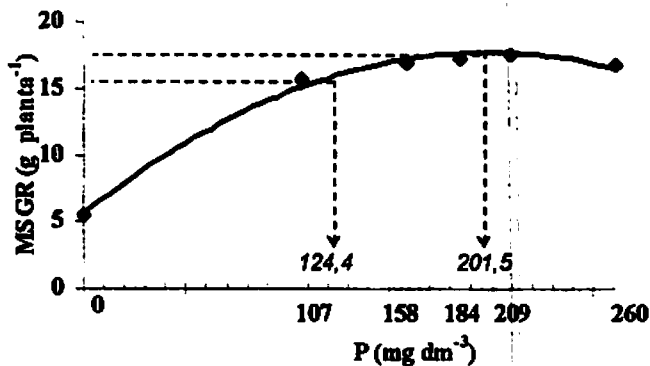


FIGURA 4. Matéria seca dos grãos (MSGR) da soja em função de doses de P solúvel. UFLA, Lavras-MG, 1999. (** significativo a 1% pelo teste t).

Variando-se a dose de P solúvel, independentemente da saturação por bases, obtém-se a produção de MSGR máxima para uma dose de P solúvel de 201,50 mg dm⁻³ e para 90% da produção máxima de MSGR foi necessária uma dose de P solúvel de 124,44 mg dm⁻³ (Figura 4), equivalendo respectivamente a 61 e 11% de superfosfato triplo na mistura (Tabela 7).

De acordo com os resultados discutidos anteriormente verifica-se que, para obter o maior rendimento de matéria seca dos grãos (201,50 mg dm⁻³ de P), e 90% da produção máxima (124,44 mg dm⁻³ de P), foi necessário superfosfato triplo na mistura (P solúvel maior que 107,52 mg dm⁻³). Provavelmente, justifica-se a necessidade de superfosfato triplo na mistura para se obter estas

produções, devido a grande disponibilidade inicial de P solúvel desta fonte (Goedert, 1985; Raij, 1991; Komdörfer et al., 1995). Por outro lado, a grande contribuição do fosfato natural de Gafsa para a obtenção de 90% da produção máxima indica que esta fonte se comportou de forma semelhante ao superfosfato triplo no fornecimento de P para as plantas, concordando com Cordeiro, Pottker e Borkert, 1979; Oliveira et al., 1984; Goedert e Lobato, 1984; Braga et al., 1991; Peruzzo, Pöttker e Wiethölter, 1997; Lantmann, 1998, citado por Peruzzo e Wiethölter, 1999; Sousa, Rein e Lobato, 1999.

TABELA 7. Produção estimada de matéria seca de grãos (MSGR) correspondente à máxima e 90% da máxima e a dose de P solúvel e o percentual de superfosfato triplo (ST) na mistura, estimados no ensaio de misturas de adubos fosfatados e saturações por bases, UFLA, Lavras-MG, 1999.

Produção estimada	MSGR	Dose de P solúvel	ST na mistura
	g planta ⁻¹	mg kg ⁻¹	%
Produção máxima	17,81	201,50	61
90% da máxima	16,03	124,44	11

De acordo com a Tabela 5, verifica-se efeito significativo dos níveis de saturação utilizados, na produção de MSGR, a qual foi maior para o nível de saturação por bases de 50% que superou o de 65% em 9,3%, ou seja, 1,33 g planta⁻¹ (Tabela 6). Embora haja a necessidade de se elevar o índice de saturação por bases do solo através da calagem, o aumento da produtividade em função das doses crescentes de calcário não é linear, podendo ocorrer um decréscimo na produção em função do emprego de doses elevadas, o que concorda com trabalhos de vários pesquisadores (Volkweiss et al. 1992; Kliemann, Costa e Silva, 1997), que também constataram diminuição na produtividade em níveis de saturação por bases elevados.

4.3 Teores e níveis crítico de fósforo nas plantas de soja

A análise de variância (Tabela 8), mostrou efeito significativo da saturação por bases e da adubação fosfatada sobre os teores e acúmulo de P na matéria seca da parte aérea da soja, sendo a interação adubação fosfatada x saturação por bases altamente significativa.

Os valores de concentração e acúmulo de fósforo (P), na matéria seca da parte aérea das plantas de soja, cultivadas nas duas saturações por bases e seis doses de P solúvel estão dispostos na Tabela 9. Observou-se um acréscimo nos teores de P na MSPA com a aplicação de doses de P solúvel, segundo uma relação linear nas duas saturações por bases (Figura 5). Esses resultados concordam com trabalhos de vários pesquisadores (Ferreira e Kaminski, 1979; Muniz et al., 1985; Minhoni, 1988; Rosolem e Marcello, 1998). Rajj e Diest (1980) e Smyth e Sanchez (1982), que observaram maior acúmulo de P na matéria seca da soja com aplicação de doses crescentes de P.

TABELA 8. Resumo da análise de variância para teores de macronutrientes e fósforo acumulado (P ac) na matéria seca da parte aérea no florescimento, obtidos no ensaio de misturas de adubos fosfatados e saturações por bases, UFLA, Lavras-MG, 1999.

Causas de Variação	GL	QUADRADO MÉDIO						
		N	P	P ac.	K	Ca	Mg	S
Saturação (S)	1	21,809	0,242**	4566,155*	4,958	18,504**	5,010**	0,014
Doses (D)	5	29,517	3,241**	39649,015**	2,152	6,629**	0,210	0,079*
S x D	5	11,539	0,094*	1384,577	1,042	1,878	0,250	0,031
Resíduo	24	16,885	0,030	769,471	1,266	1,320	0,107	0,025
C.V. %		12,40	6,65	16,99	5,90	11,72	5,82	7,41

* e **: significativo a 5 e 1% pelo teste de F.

Substituindo-se nas equações da Figura 5, para cada saturação por bases, a dose de P solúvel correspondentes à produção máxima de grãos e 90% da

máxima produção de grãos (Tabela 7), estimaram-se os níveis críticos de P na MSPA correspondentes a essas produções (Tabela 10).

TABELA 9. Concentração e acúmulo de fósforo na matéria seca da parte aérea, no florescimento, obtidos no ensaio de misturas de adubos fosfatados e saturações por bases, UFLA, Lavras-MG, 1999.

Saturação por bases (%)	Doses de P Solúvel (mg dm ⁻³)						Média
	0	107,52	158,59	184,16	209,68	260,79	
	P (g kg ⁻¹)						
V 50%	1,40	2,10	2,64	3,01	3,21	3,70	2,68A ¹
V 65%	1,49	2,23	2,51	2,67	2,68	3,50	2,51B
Média	1,45	2,16	2,58	2,84	2,94	3,60	2,59
	P (mg planta ⁻¹)						
V 50%	3,46	12,33	18,21	20,78	24,49	25,46	17,46A
V 65%	4,35	7,08	15,74	19,42	18,22	26,41	15,20B
Média	3,91	9,71	16,97	20,10	21,36	25,93	16,33

¹Médias seguidas da mesma letra não apresentam diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Scott & Knott.

Os níveis críticos de P para 90% da produção máxima encontrados, 2,41 e 2,31, para saturação por bases de 50 e 65%, respectivamente, foram superiores aos encontrados por Muniz et al. (1985), os quais variaram, com a textura do solo, de 0,88 g kg⁻¹ a 2,07 g kg⁻¹. Segundo Faquin et al. (1995), estas diferenças entre os níveis críticos observados e as da literatura são devidas, possivelmente, a diversos fatores como época de cultivo, método utilizado, doses dos outros nutrientes aplicados, idade da planta ou órgão amostrado, época de amostragem, condições de cultivo, campo ou controlada, entre outros.

O maior nível crítico observado para a saturação por bases de 50% (2,41 g kg⁻¹), está ligado ao maior fornecimento de P para as plantas pelas adubações utilizadas, o que é comprovado pelo maior teor e acúmulo de P na MSPA nesta saturação (Tabela 9). Resultados coincidentes com esses foram observados por Muniz et al. (1985), que verificaram maior acúmulo de P na MSPA, no maior nível crítico. O maior nível crítico encontrado por Muniz e colaboradores, está relacionado com uma situação de solo, onde o mesmo ofereceu menor

competição por P para com a planta, menor capacidade máxima de adsorção de fósforo, utilizando diferentes tipos de solo e doses de P, usando $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

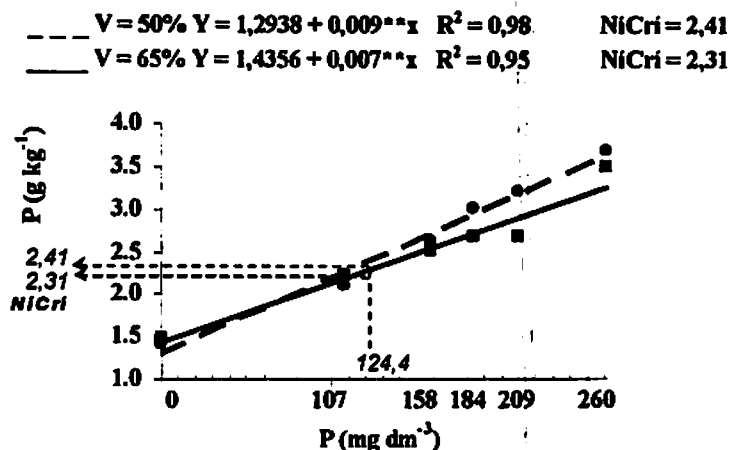


FIGURA 5. Fósforo (P) e nível crítico (NiCri) na matéria seca da parte aérea da soja em função de doses de P solúvel e saturação por bases. UFLA, Lavras-MG, 1999. (** significativo a 1% pelo teste t).

O maior fornecimento de P para as plantas, pelas adubações, está ligado diretamente a maior eficiência na disponibilização de P, principalmente pelo fosfato natural de Gafsa na saturação de 50%. Resultados coincidentes foram obtidos por Vitorino et al. (1998) utilizando saturações por bases acima de 60%. Nesse mesmo trabalho, para o superfosfato triplo, não houve diferença entre as saturações por bases de 50 a 80%.

TABELA 10. Níveis críticos de P na MSPA correspondente a produção máxima e 90% da máxima, estimados no ensaio de misturas de adubos fosfatados e saturações por bases, UFLA, Lavras-MG, 1999.

Saturação por bases	Nível crítico	
	Produção máxima	90% da máxima
	g kg ⁻¹	
V = 50%	3,11	2,41
V = 65%	2,85	2,31

Por sua vez, o maior nível crítico na saturação por bases de 50%, não esteve relacionado com maior produção de grãos, visto que a produção de matéria seca dos grãos em função das doses de P solúvel foram independentes das saturações por bases. Uma das prováveis explicações para este fato é a relatada por Bahia Filho e Braga (1975), que sugerem a existência de consumo de luxo de P pelo vegetal, quando a quantidade aplicada for superior aos níveis de fósforo para a produção máxima de matéria seca.

4.4 Nutrição em macro e micronutrientes

A análise de variância mostrou efeito significativo da saturação por bases em relação ao P, P ac., Ca, Mg, Mn e Zn, o mesmo se verificando para os níveis de P em relação ao P, P ac., Ca, S, B, Cu e Zn (Tabelas 8 e 11).

TABELA 11. Resumo da análise de variância para teores de micronutrientes na matéria seca da parte aérea no florescimento, obtidos no ensaio de misturas de adubos fosfatados e saturações por bases, UFLA, Lavras-MG, 1999.

Causas de Variação	GL	QUADRADO MÉDIO				
		B	Cu	Fe	Mn	Zn
Saturação (S)	1	145,323	0,150	23,297	12892,467**	2090,928**
Doses (D)	5	184,624*	30,217**	411,474	319,260	1331,123**
S x D	5	105,949	1,457**	273,303	171,104	457,668**
Resíduo	24	68,469	0,374	269,834	318,846	77,302
C.V. %		13,44	27,06	12,27	25,01	10,61

* e **: significativo a 5 e 1% pelo teste de F.

Nas Tabelas 9 e 12, encontram-se as concentrações de macronutrientes na matéria seca da parte aérea das plantas coletadas no florescimento. As concentrações dos macronutrientes, de maneira geral, foram menores que os encontrados por Rosolem e Marcello (1998), nas saturações por bases de 50 e

75%, que verificaram valores que variaram de 2,1 a 4,7 de P; 22,7 a 29,9 de Ca e 5,85 a 7,97 g kg⁻¹ de Mg, enquanto os micronutrientes zinco e manganês estão mais altos, variando de 19 a 31 mg kg⁻¹ de Zn e 83 a 101 mg kg⁻¹ de Mn. Por outro lado, os valores verificados no presente trabalho, diferiram dos encontrados por Minhoni (1988), que estudando a absorção de nutrientes pela soja, para os tratamentos com fosfato de rocha, superfosfato triplo a 30 e 70 mg dm⁻³, constataram menores teores de Mg, S e Zn, maiores teores de Mn e teores semelhantes para o Ca e o Cu. Os teores encontrados por Minhoni (1988) foram: P:0,42-0,55; Ca:7,8-9,4; Mg:3,1-3,8; S:0,81-1,2 g kg⁻¹ e Cu:2,5-3,5; Mn:113,5-185,5; Zn:19,17-27,50 mg kg⁻¹. Tais diferenças são devidas possivelmente, a diversos fatores como época de cultivo, método utilizado, doses dos outros nutrientes aplicados, idade da planta amostrada, solo utilizado, entre outros, conforme relatado anteriormente

Para o cálcio, observou-se um maior teor na MSPA nos tratamentos com metade, dois terços e 100% de fosfato natural de Gafsa na mistura, devido provavelmente a alta percentagem de cálcio (35,7%) neste adubo, ocasionando maior suprimento em cálcio, aliado a uma grande capacidade de absorção de cálcio pela soja (Rajj e Diest, 1979). O maior teor de cálcio e magnésio e menor teor de manganês e zinco na maior saturação por bases (Tabela 12), podem ser explicados pela maior quantidade de corretivo aplicada por ocasião da aplicação de calcário, o que elevou a disponibilidade de cálcio e magnésio e diminuiu a disponibilidade do manganês e do zinco no solo conforme Faquin 1994; Malavolta, Vitti e Oliveira, 1997; Rosolem e Marcello, 1998.

O enxofre (Tabela 12), de maneira geral não sofreu influência dos níveis de adubação com P, comportando-se de maneira semelhante entre os tratamentos.

TABELA 12. Teores médios de macronutrientes e micronutrientes na matéria seca da parte aérea, no florescimento, obtidos no ensaio de misturas de adubos fosfatados e saturações por bases, UFLA, Lavras-MG, 1999.

Saturação por bases (%)	Doses de P Solúvel (mg dm ⁻³)						Média
	0	107,52 ¹	158,16	184,16	209,68	260,79	
N (g kg ⁻¹)							
V 50%	30,83	34,62	34,12	30,72	31,59	32,34	32,37
V 65%	35,45	39,60	32,24	30,39	31,73	34,15	33,93
Média	33,14	37,11	33,18	30,56	31,66	32,25	33,15
K (g kg ⁻¹)							
V 50%	17,92	18,48	19,08	18,95	19,51	18,31	18,71
V 65%	18,34	19,54	20,90	19,09	19,12	19,72	19,45
Média	18,13	19,01	19,99	19,02	19,32	19,02	19,08
Ca (g kg ⁻¹)							
V 50%	8,49	10,90	9,24	8,87	8,35	8,66	9,08B ¹
V 65%	9,22	11,48	12,37	11,41	9,47	9,17	10,52A
Média	8,85	11,19	10,80	10,14	8,91	8,92	9,80
Mg (g kg ⁻¹)							
V 50%	5,58	5,42	5,15	5,47	5,08	4,74	5,24B
V 65%	5,79	6,23	6,27	5,94	5,66	6,04	5,99A
Média	5,68	5,83	5,71	5,71	5,37	5,39	5,61
S (g kg ⁻¹)							
V 50%	2,30	2,16	2,04	2,28	2,02	2,01	2,13
V 65%	2,38	2,27	2,20	2,05	2,01	2,12	2,17
Média	2,34	2,21	2,12	2,16	2,02	2,07	2,15
B (mg kg ⁻¹)							
V 50%	67,62	64,93	60,37	56,31	64,10	68,14	63,58
V 65%	73,12	67,34	52,49	57,19	55,95	51,27	59,56
Média	70,37	66,14	56,43	56,75	60,03	59,71	61,57
Cu (mg kg ⁻¹)							
V 50%	6,05	2,92	1,94	0,25	0,82	1,20	2,20
V 65%	5,95	4,93	1,64	0,55	0,44	0,44	2,32
Média	6,00	3,92	1,79	0,40	0,63	0,82	2,26
Fe (mg kg ⁻¹)							
V 50%	125,27	120,65	146,71	153,36	134,58	118,10	133,1
V 65%	130,74	135,15	142,80	131,48	136,29	131,87	134,7
Média	128,00	127,90	144,75	142,42	135,43	124,99	133,9
Mn (mg kg ⁻¹)							
V 50%	88,19	95,16	89,38	90,40	81,96	96,85	90,32A
V 65%	52,62	69,89	62,59	45,33	40,14	44,28	52,47B
Média	70,40	82,52	75,99	67,86	61,05	70,57	71,40
Zn (mg kg ⁻¹)							
V 50%	106,11	92,10	86,34	90,98	81,06	86,19	90,46A
V 65%	100,12	107,18	70,88	61,86	54,26	57,02	75,22B
Média	103,12	99,64	78,61	76,42	67,66	71,60	82,84

¹Médias seguidas da mesma letra não apresentam diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Scott & Knott.

Para o boro e o zinco observou-se uma diminuição no teor com o aumento da dose de P solúvel utilizada nas adubações (Tabela 12). Conforme relatam Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), a inibição da absorção de Zn é induzida pela maior absorção de P.

O cobre foi o micronutriente mais influenciado pelas doses de P (Tabela 12), apresentando menores teores na MSPA com a elevação das doses de P solúvel. Da mesma maneira Minhoni (1988), obtiveram menores teores de Cu utilizando maiores níveis de P solúvel. O que é também relatado por Malavolta, Vitti e Oliveira 1997. Outro aspecto a considerar é o efeito de diluição do Cu na matéria seca da parte aérea da planta, devido a maior produção de MSPA nas doses maiores de P solúvel (Figura 2).

4.5 Eficiência Agronômica

O índice de eficiência agronômica da matéria seca dos grãos obtidos em função das misturas de adubos e do fosfato natural de Gafsa em relação ao superfosfato triplo nas duas saturações por bases, encontra-se disposto na Tabela 13.

TABELA 13. Índice de eficiência agronômica (IEA), para a produção da matéria seca de grãos no final do ciclo, obtidos no ensaio de misturas de adubos fosfatados e saturações por bases, UFLA, Lavras-MG, 1999.

Misturas (%)	Saturação por bases	
	50 %	65 %
	----- IEA (%) -----	
100,00 FNG	103	77
33,33 ST e 66,66 FNG	104	100
50,00 ST e 50,00 FNG	107	101
66,66 ST e 33,33 FNG	111	102
100,00 ST	100	100

$$IEA = (MSGR \text{ Tratamento} - MSGR \text{ Test.}) / (MSGR \text{ ST} - MSGR \text{ Test.}) \times 100$$

O índice de eficiência agrônômica do fosfato natural de Gafsa (103%), na saturação por bases de 50%, foi ligeiramente superior ao IEA do superfosfato triplo (100%), o que também ocorreu com as misturas. Esses resultados de acordo com Rein (1994) podem ser devidos à dissolução total do P do fosfato natural. Relatos de outros pesquisadores também evidenciam ser o fosfato natural de Gafsa uma fonte de fósforo equivalente ao superfosfato triplo (Cordeiro, Pottker e Borkert, 1979; Oliveira et al., 1984; Goedert e Lobato, 1984; Braga et al., 1991; Peruzzo, Pöttker e Wiethölter, 1997; Lantmann, 1998, citado por Peruzzo e Wiethölter, 1999; Sousa, Rein e Lobato, 1999). A alta eficiência desta fonte relatada anteriormente pode ser devida a incorporação do P em todo o volume do solo conforme sugerido por Goedert e Lobato (1980); Rajj (1986); Rein (1994); Souza (1997). Trabalhos de Vitorino et al. (1998), relatam que a saturação por bases em torno de 50% facilita a solubilização do fósforo proporcionando maior eficiência do fosfato natural de Gafsa.

Na maior saturação por bases, devido ao maior emprego de corretivo, o fosfato natural de Gafsa apresentou menor eficiência agrônômica em relação ao superfosfato triplo e as misturas. O menor IEA do fosfato natural de Gafsa pode ser devido a vários fatores entre os quais, maior pH e maior quantidade de cálcio no solo (Tabela 4), comparado com a condição de menor saturação por bases, interferindo negativamente na dissolução do fosfato natural de Gafsa segundo Khasawneh e Doll (1978); Vitorino et al. (1998); Sousa et al. (1999).

Verificou-se tendência de aumento do IEA com a utilização de doses crescentes de P solúvel, sendo obtidos com a porcentagem de superfosfato triplo na mistura próxima de 50%, os melhores índices de eficiência agrônômica nas duas saturações por bases, foram próximos da porcentagem necessária para obtenção da produção máxima de matéria seca dos grãos. Esses resultados podem ser explicados pelo maior fornecimento inicial de P pela fonte solúvel às

plantas devido a sua solubilização imediata, aliado a um fornecimento menor, porém constante de P do fosfato natural (Goedert, 1985; Raij, 1991; Komdörfer et al., 1995). Resultados semelhantes foram obtidos em campo por Cordeiro, Pottker e Borkert (1979), com fosfato natural de Gafsa e Smyth e Sanchez (1982) e Pedroso Neto e Tanaka (1988), com fosfato natural de Patos de Minas, sendo os fosfatos naturais aplicados a lanço em combinação com superfosfato triplo aplicado no sulco.

No presente trabalho, as misturas de fosfatos apresentaram resultados comparativos a uma fosfatagem corretiva com fosfatos acidulados, podendo ocorrer substituição de até 50% do fosfato acidulado pelo fosfato natural de Gafsa sem ocorrer prejuízo no desenvolvimento das plantas. No entanto, misturas de fosfatos devem ser mais estudadas, principalmente com respeito a aplicação localizada dos mesmos.

5 CONCLUSÕES

As misturas de fósforo utilizadas em função de diferentes fontes constituíram alternativa de fornecimento de fósforo à soja. Os melhores resultados foram obtidos com a saturação por bases de 50% e proporções de superfosfato triplo e fosfato natural de Gafsa próximas de 50%. Nesta condição observou-se melhor eficiência agronômica da fertilização fosfatada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E.; OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Boletim Informativo Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.1, p.27-32, 2000.
- BAHIA FILHO, A.F.C.; BRAGA, J.M. Fósforo em Latossolos do Estado de Minas Gerais. III. Índices de disponibilidade de fósforo e crescimento vegetal. **Experientiae**, Viçosa, v.20, n.8, p.218-233, out. 1975.
- BRAGA, N.R.; MASCARENHAS, H.A.A.; BULISANI, E.A.; RAIJ, B. van; FEITOSA, C.T.; HIROCE, R. Eficiência agrônômica de nove fosfatos em quatro cultivos consecutivos de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.3, p.315-319, set./dez. 1991.
- BRAGA, N.R.; MASCARENHAS, H.A.A.; FEITOSA, C.T.; HIROCE, R.; RAIJ, B. van. Efeitos de fosfatos sobre o crescimento e produção de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.4, n.1, p.36-39, jan./abr. 1980.
- CÂMARA, G.M. de S. Ecofisiologia da soja e rendimento. In: CÂMARA, G.M. de S. **Soja: tecnologia da produção**. Piracicaba: ESALQ, 1998. p.256-277.
- CAMPO, R.J.; HUNGRIA, M. O nitrogênio na cultura da soja. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 21., 1999, Dourados. ATA... Dourados: EMBRAPA-CPAO, 1999. p.48-49.
- CORDEIRO, D.S.; POTTKER, C.M.; BORKERT, G.; SFREDO, G.J.; MESQUITA, A.N.; DITTRICH, R.C.; PALHANO, J.B. Efeito de níveis de fósforo na produção e no rendimento da soja na região de Dourados(MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.3, n.2, p.100-105, maio/ago. 1979.
- COUTINHO, E.L.M.; NATALE, W.; STUPIELLO, J.J.; CARNIER, P.E. Avaliação da eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados para a cultura do milho. **Científica**, São Paulo, v.19, n.2, p.93-104, 1991.
- DAY, P.R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C.A. (ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. Cap.13, p.545-566.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro nacional de pesquisa de solos. **Manual de métodos de análises de solo**, 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS, 1997. 212p. (Documentos 1).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Recomendações técnicas para cultura da soja na região Central do Brasil 1999/2000.** Londrina, 1999. 226p. (EMBRAPA. Documentos, 132).

ERNANI, P.R.; FIGUEIREDO, O.R.A.; BECEGATO, V.; ALMEIDA, J.A. Decréscimo da retenção de fósforo no solo pelo aumento do pH. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, n.1, p.159-162, jan./abr. 1996.

FAQUIN, V. Nutrição mineral de plantas. Lavras: ESAL/FAEPE, 1994. 227p.

FAQUIN, V.; HOFFMANN, C.R.; EVANGELISTA, A.R.; GUEDES, G.A.A. O potássio e o enxofre no crescimento da braquiária e do colônio em amostras de um latossolo da região do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.1, p.87-94, jan./abr. 1995.

FRANÇA, F.M.C. Cerrados do nordeste do Brasil: caracterização, fatores alavancadores e restritores. In. **SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO**, 8., 1996, Brasília. Anais... Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1996. 520p.

→ **FEITOSA, C.T.** Influência do pH e teor de argila de solos na solubilização de fosfatos. Piracicaba, ESALQ/USP, 1982. 118p. (Tese - Doutorado em Solos e nutrição de plantas).

FERREIRA, T.N.; KAMINSKI, J. Eficiência agrônômica dos fosfatos naturais de Patos-de-Minas e Gafsa puros e modificados por acidulação e calcinação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.3, n.3, p.158-162, set./dez. 1979.

↳ **GOEDERT, W.J.** Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo. São Paulo: Nobel, 1985.422p.

GOEDERT, W.J.; LOBATO, E. Eficiência agrônômica de fosfatos em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.15, n.3, p.311-318, jul. 1980.

GOEDERT, W.J.; LOBATO, E. Avaliação agronômica de fosfatos em solo de cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.8, n.1, p.97-102, jan./abr. 1984.

GOEDERT, W.J.; SOUSA, D.M.G.; REIN, T.A. Princípios metodológicos para avaliação agronômica de fontes de fósforo. Planaltina: Embrapa, 1986. 23p. (EMBRAPA-CPAC. Documentos, 22).

KHASAWNEH, F.E.; DOLL, E.C. The use phosphate rock for direct application to soils. *Advances in Agronomy*, v. 30, p. 159-206, 1978.

KLIEMANN, H.J.; COSTA, A. de V.; SILVA, F.C. da. Resposta à calagem e fosfatagem por três cultivos de soja em três solos no estado de Goiás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: SBCS, 1997. CD-ROM.

KORNDÖRFER G.H.; CABEZAZ, W.L.; ANDERSON, D.; RIBEIRO, C.F.; HOROWITZ, N.; MATTIOLI FILHO, G. Efeito imediato e residual de fosfatos naturais estrangeiros em solos de cerrado. Uberlândia: UFU, 1995. 17p. (Relatório-01).

LIMA, D.V. Limitações nutricionais para a cultura da soja (*Glycine max*) e para o brachiário (*Brachiaria brizanta*) em latossolos sob cerrado da região de Cuiabá-MT. Lavras: UFLA, 1995. 102p. (Dissertação - Mestrado em Solos e nutrição de plantas).

LINDSAY, W.L.; NORVELL, W.A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.42, n.3, p.421-428, May/June, 1978.

LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. Solos sob cerrado: manejo da fertilidade para a produção agropecuária. São Paulo: ANDA, 1992. 60 p. (ANDA. Boletim Técnico, 5).

LOPES, A.S.; GUILERME, L.R.G.; MARQUES, R. Guia de fertilidade do solo: versão multimídia. Lavras: UFLA/ANDA/POTAFOS, 1999. CD-ROM.

MAGALHÃES, A.F. de J. Fosfatos naturais no Brasil. Cruz das Almas, BA: EMBRAPA-CNPMP, 1993. 17p. (EMBRAPA-CNPMP. Documentos, 53).

- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed.. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1997. 319p.**
- MINHONI, M.T. de A. Efeito da matéria orgânica na solubilização microbiana da apatita de araxá e da associação micorrízica vesicular-arbuscular na absorção de nutrientes pela soja (*Glycine max* (L) MERRIL). Piracicaba: ESALQ/USP, 1988. 138p. (Tese - Doutorado em Solos e nutrição de plantas)**
- MIRANDA, L.N. de Relações entre a resposta da soja à adubação fosfatada e alguns parâmetros do solo. Porto Alegre, UFRGS, 1976. 68p. (Dissertação- Mestrado em Solos).**
- MUNIZ, A.S.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Nível crítico de fósforo na parte aérea da soja como variável do fator capacidade de fósforo do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.9, n.3, p.273-243, set./dez. 1985.**
- NAHAS, E.; CENTURION, J.F.; ASSIS, L.C. Efeito das características químicas dos solos sobre os microrganismos solubilizadores de fosfato e produtores de fosfatases. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.18, n.1, p.49-53, jan./abr. 1994.**
- NATALE, W.; COUTINHO, E.L.M. Avaliação da eficiência Agronômica de frações granulométricas de um calcário dolomítico. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.18, n.1, p.55-62, jan./abr. 1994.**
- NOVAIS, R.F. de; SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa: UFV/DPS, 1999. 399p.**
- OLIVEIRA, E.L. de; MUZILLI, O.; IGUE, K.; TORNERO, T.T. Avaliação da eficiência agronômica de fosfatos naturais. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.8, n.1, p.63-67, jan./abr. 1984.**
- PEDROSO NETO, J.C.; TANAKA, R.T. Comparação de fontes de fósforo aplicadas a lanço, na cultura da soja. In REUNIÃO DO PROGRAMA DE PESQUISA DE SOJA DO ESTADO DE MINAS GERAIS. 1986, Uberaba. Anais... Viçosa: UFV, 1988. p. 139-141.**

PERUZZO, G.; PÖTTKER, D.; WIETHÖLTER, S. Avaliação da eficiência agrônômica dos fosfatos naturais reativos de Arad e de Gafsa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: SBCS, 1997. CD-ROM.

PERUZZO, G.; WIETHÖLTER, S. Fosfatos naturais reativos – Resultados obtidos no Sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., 1999, Brasília. Anais... Brasília: SBCS, 1999. CD-ROM.

RAIJ, B. van. Condições mínimas para fosfatos alternativos ao superfosfato. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.10, n.3, p.235-239, set./dez. 1986.

RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e adubação. São Paulo: Agrônômica Ceres, 1991. 343p.

RAIJ, B. van. Adubação fosfatada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: SBCS, 1997. CD-ROM.

RAIJ, B. van; DIEST, A. van. Utilization of phosphate from different sources by six plant species. *Plant and Soil*, The Hague, v.51, n.4, p.577-589, Sep. 1979.

RAIJ, B. van; DIEST, A. van. Phosphate supplying power of rock phosphates in an oxisol. *Plant and Soil*, The Hague, v.55, n.1, p.97-104, Apr. 1980.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H. et al. Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas: Fundação Cargil, 1987. 170p.

REIN, T.A. Uso Eficiente de Fertilizantes Fosfatados e sua Solubilidade. In: SIMPÓSIO NACIONAL DO SETOR DE FERTILIZANTES, I ENCONTRO NACIONAL DE ROCHA FOSFÁTICA, 6, 1994, São Paulo. Anais... São Paulo: ANDA/IBRAFÓS, 1994. p.101-125.

REIN, T.A.; SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. Eficiência agrônômica do fosfato natural da Carolina do Norte em solo de cerrado. In: Relatório técnico anual do centro de pesquisa agropecuária dos cerrados 1991 a 1995. Planaltina, DF: EMBRAPA-CPAC, 1997. p.76-78.

ROSOLEM, C.A.; MARCELLO, C.S. Crescimento radicular e nutrição mineral da soja em função da calagem e adubação fosfatada. *Scientiae Agricola*, Piracicaba, v.55, n.3, p.448-455, set./dez.1998.

SMYTH, T.J.; SANCHEZ, P.A. Phosphate rock and superphosphate combinations for soybeans in Cerrado Oxisol. *Agronomy Journal*, Madison, v.74, n.4, p.730-735, July/Aug. 1982.

SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E.; MIRANDA, L.N. de. Correção do solo e adubação da cultura da soja In: ARANTES, N.E.; SOUZA, P.I.M. *Cultura da soja nos cerrados*. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p.137-158.

SOUSA, D.M.G. de; MIRANDA, L.N. de; LOBATO, E.; CASTRO, L.H.R. de. Métodos para determinar as necessidades de calagem em solos dos cerrados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.13, n.2, p.193-198, maio/ago. 1989.

SOUSA, D.M.G.; REIN, T.A.; LOBATO, E. Eficiência agrônômica do fosfato natural de Gafsa em um Latossolo do cerrado com a cultura da soja. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., 1999, Brasília. *Anais... Brasília: SBCS, 1999. CD-ROM.*

SOUSA, D.M.G.; REIN, T.A.; LOBATO, E.; SOARES, W.V. Eficiência agrônômica do fosfatos naturais na região dos cerrados. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., 1999, Brasília. *Anais... Brasília: SBCS, 1999. CD-ROM.*

↳ SOUSA, D.M.G. de; VOLKWEISS, S.J. Influência do sistema de preparo do solo no efeito residual da adubação fosfatada. In. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA Relatório técnico anual do centro de pesquisa agropecuária dos cerrados 1985/1987., 1991, Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1991. p.66-67.

SOUZA, E.C.A. *Uso agrônômico do fosfato natural*. 2. ed. rev. Jaboticabal: FUNEP, 1997. 47p.

↳ STEFANUTTI, R. *Efeito da granulometria de um termofosfato magnesiano no aproveitamento do fósforo*. Piracicaba: CENA, 1991. 76p. (Dissertação - Mestrado em Energia nuclear para a agricultura).

- TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; BORKERT, C.M. Nutrição mineral da soja In: ARANTES, N.E.; SOUZA, P.I.M. **Cultura da soja nos cerrados**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p.105-135.
- TISDALE, S.L.; NELSON, L.W.; BEATON, J.D. Soil and fertilizer phosphorus. In: **Soil fertility and fertilizers**. 5. ed. New York: MacMillan Publishing Company, 1993. p.176-229.
- VALE, F.R. do; GUILHERME, L.R.G.; GUEDES, G.A. de A; FURTINI NETO, A.E. **Fertilidade do solo: dinâmica e disponibilidade de nutrientes**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1997a. 171p.
- VALE, F.R. do; GUILHERME, L.R.G.; GUEDES, G.A. de A.; FURTINI NETO, A.E. **Manejo da fertilidade do solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997b. 206p.
- VETTORI, L. **Métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7).
- VITORINO, A.C.T.; SOUZA, L.C.F. de; VITORINO, P. de F.P.G.; JOENCK, V. **Influência da aplicação de diferentes fosfatos naturais reativos sob diversas saturações por bases na produção de soja**. In: **REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS**, 23., 1998, Caxambu. **Resumos...** Lavras: UFLA/SBCS/SBM, 1998. p.83.
- VITTI, G.C.; LUZ, P.H. de C. **Manejo químico do solo para alta produtividade da soja**. In: CÂMARA, G.M. de S. **Soja: tecnologia da produção**. Piracicaba: ESALQ, 1998. p.84-112.
- VOLKWEISS, S.J.; TEDESCO, M.J.; GIANELO, C.; BISSANI, C.A. **A calagem dos solos ácidos – Prática e benefícios**. Porto Alegre, RS: UFRS, 1992. 53p. (Boletim técnico, 1).