



UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

**FERTILIZANTES FOSFATADOS NA  
CULTURA DA SOJA**

**IVAN BEDIN**

**2002**

**IVAN BEDIN**

**FERTILIZANTES FOSFATADOS 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 Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de "Mestre".

Orientador

Prof. Dr. Antônio Eduardo Furtini Neto

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL

2002

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

**Bedin, Ivan**

**Fertilização fosfatada na cultura da soja / Ivan Bedin. -- Lavras : UFLA, 2002.  
65 p. : il.**

**Orientadora: Antonio Eduardo Furtini Neto.**

**Dissertação (Mestrado) – UFLA.**

**Bibliografia.**

**1. Soja. 2. Fósforo. 3. Fertilizante. 4. Eficiência. I. Universidade Federal de  
Lavras. II. Título.**

**CDD-631.85**

**-633.34895**

**IVAN BEDIN**

**FERTILIZANTES FOSFATADOS 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 Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de "Mestre".

**APROVADA em 28 fevereiro de 2002**

**Prof. Dr. Valdemar Faquin**

**UFLA**

**Prof. Dr.<sup>a</sup> Janice Guedes de Carvalho**

**UFLA**



**Prof. Dr. Antônio Eduardo Furtini Neto**

**UFLA**

**(Orientador)**

**LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL**

A Deus,

por estar comigo;

**OFEREÇO**

Aos meus pais, Ediles e Argino, por me ensinarem à aprender;

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, pelo acolhimento e oportunidade da obtenção de conhecimento.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pela concessão da bolsa de estudos.

À Fertilizantes Fosfatados S.A. - Fosfertil/Ultrafertil, na pessoa dos Drs. Reinaldo Murilo Alves Pinto e Luiz Antônio Fonseca de Barros, pelo suporte financeiro e apoio técnico para a execução dos experimentos.

Ao Prof. Dr. Antônio Eduardo Furtini Neto, pelo incentivo, transferência de conhecimento e harmonia na orientação desse trabalho.

Ao Prof. MSc. Álvaro Vilela de Resende, pela amizade, apoio indispensável e irrestrito em todas as etapas experimentais e na elaboração dessa dissertação.

Ao Prof. Valdemar Faquin, pelas sugestões valiosas durante a condução do experimento, discussão do trabalho e pela disponibilidade na revisão científica final.

À Prof. Janice Guedes de Carvalho, pela revisão científica da dissertação.

À Viviane, pelo afeto ao longo dessa caminhada.

Ao Benito, Maria José, Livian e ao Lu, pelo apoio e amizade.

Aos amigos Breno, Zé Zilton, Túlio e Léo, pela ajuda indispensável e pela descontração, especialmente durante a condução do experimento.

Aos amigos de república, Dyeme, Jonas, Cláudio, Alexandre, Liso, Frank, Badu, pelos momentos agradáveis proporcionados.

Aos funcionários do Departamento de Ciência do Solo – UFLA, em especial à Adriana, Maria Alice, Vera, Leninha, Pezão, Vítinho, Roberto e João Gualberto pelo apoio e atenção.

*"Há muitos séculos, em um ponto perdido do universo, banhado pelas cintilações de inúmeras galáxias, houve um dia um planeta em que animais inteligentes inventaram o Conhecimento. Foi o instante mais arrogante e mais mentiroso da história do universo, mas foi apenas um instante. Depois de alguns suspiros da natureza, o planeta se congelou e os tais animais inteligentes tiveram que morrer".*

*Friedrich Nietzsche*

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS .....	i
LISTA DE FIGURAS.....	iii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	v
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO .....	3
2.1. Consumo de fertilizantes fosfatados na cultura da soja.....	3
2.2. Adubação fosfatada em solos tropicais.....	4
2.3. Eficiência da adubação fosfatada .....	7
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	11
3.1. Caracterização dos solos utilizados .....	11
3.2. Delineamento experimental, tratamentos e condução dos experimentos.....	11
3.3. Avaliação dos experimentos .....	15
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	18
4.1. Disponibilidade de nutrientes no solo.....	18
4.2. Teores foliares de nutrientes .....	23
4.3. Produção de matéria seca e de grãos .....	31
4.4. Efeito de doses das FT's na produção de grãos e níveis críticos foliares de fósforo .....	35
4.5. Acúmulo de nutrientes nos grãos e eficiência de utilização de P.....	39
4.6. Considerações finais.....	44
5. CONCLUSÕES .....	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	47
ANEXO A .....	54
ANEXO B.....	58



## LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Principais atributos químicos e físicos dos solos, antes da aplicação dos tratamentos.....	12
2	Caracterização química das fontes fosfatadas utilizadas nos experimentos.....	13
3	Doses de P utilizadas, em função da análise do P remanescente (P-rem) dos solos.....	13
4	Resumo dos tratamentos utilizados nos experimentos.....	14
5	Resumo da adubação básica de plantio.....	15
6	Variações no pH dos solos NQ, LVAm e LVAr ao longo do tempo (dias após plantio - DAP), em função dos tratamentos.....	22
7	Teores foliares de P, Mg, Ca, Mn e Zn e relação foliar Ca/Mg no florescimento da soja, para o solo NQ, em função dos tratamentos.....	26
8	Teores foliares de P, Mg, Ca, Mn e Zn e relação foliar Ca/Mg no florescimento da soja, para o solo LVAm, em função dos tratamentos.....	27
9	Teores foliares de P, Mg, Ca, Mn e Zn e relação foliar Ca/Mg no florescimento da soja, para o solo LVAr, em função dos tratamentos.....	28
10	Produção de matéria seca da parte aérea (MS) e produção relativa (PR) da soja em resposta à aplicação de diferentes fontes fosfatadas, nas doses de 310, 350 e 400 mg dm <sup>-3</sup> de P para os solos NQ, LVAm e LVAr respectivamente.....	32
11	Produção de grãos e produção relativa (PR) da soja em resposta à aplicação de diferentes fontes fosfatadas nas doses de 310, 350 e 400 mg dm <sup>-3</sup> de P para os solos NQ, LVAm e LVAr, respectivamente.....	33

12	Estimativas das produções máxima (PM) e máxima econômica (PME) de grãos da soja em função de doses das FT's 1 e 2 e produção observada no tratamento referência (ST+CD), nos solos NQ, LVAm e LVAr.....	38
13	Doses de P correspondentes à produções máxima (PM) e máxima econômica (PME), dose das FT's equivalente à produção do tratamento ST+CD (DE) e nível crítico foliar de P (NC), nos solos NQ, LVAm e LVAr.....	38
14	Conteúdos de Ca e Mg nos grãos de soja em resposta à diferentes fontes fosfatadas, nas doses de 310, 350 e 400 mg dm <sup>-3</sup> de P para os solos NQ, LVAm e LVAr respectivamente.....	40
15	Conteúdos e eficiência de utilização de P (EUP) pela soja em resposta à diferentes fontes fosfatadas, nas doses de 310, 350 e 400 mg dm <sup>-3</sup> de P para os solos NQ, LVAm e LVAr, respectivamente.....	42

## LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Fósforo disponível no solo pelos extratores Mehlich 1 e Resina Trocadora de Ânions em função das doses das Fontes Teste 1(a) e 2(b).....	19
2	Disponibilidade de Ca, Mg e P (P-Resina) nos solos NQ (a), LVAm (b) e LVAr (c) em função de diferentes fontes fosfatadas, aos 15 dias após o plantio.....	21
3	Teores foliares de P no florescimento da soja, em função de doses das FT's 1 e 2 nos solos NQ (a), LVAm (b) e LVAr (c).....	24
4	Produção de grãos de soja em função de doses das FT's 1 e 2 nos solos NQ (a), LVAm (b) e LVAr (c).....	36

## RESUMO

BEDIN, Ivan. Fertilizantes fosfatados na cultura da soja. 2002. 65p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG\*

Como a exploração da potencialidade agrícola brasileira ocorre em solos inerentemente pobres em fósforo (P), a eficiência dos fertilizantes fosfatados influencia sobremaneira a produção. Uma alta eficiência é objetivo comum das indústrias de fertilizantes e agricultores, os quais visam, respectivamente, produtos mais competitivos e com reduzido custo/benefício. Nesse trabalho, objetivou-se avaliar a eficiência de fertilizantes fosfatados na nutrição e produção da soja, cultivada em casa de vegetação, em três solos distintos quanto à capacidade tampão de fosfato: Neossolo Quartzarênico (NQ), textura arenosa; Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura média (LVAm); e Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura argilosa (LVAr). O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, num esquema fatorial  $2 \times 4 + 8$ , no qual foram avaliadas duas Fontes Teste (FT's 1 e 2) em quatro doses de P e oito tratamentos adicionais: Fonte Teste 3 (FT3); superfosfato triplo + calcário calcítico; superfosfato triplo + calcário dolomítico; misturas superfosfato triplo + FT1 e superfosfato triplo + FT2 na relação 1:1 de  $P_2O_5$  total; termofosfato magnesiano Yoorin; fosfato de Araxá e testemunha (sem P). As doses das FT's 1 e 2 foram definidas com base na análise do P remanescente, sendo distintas para cada solo. A dose de P dos tratamentos adicionais coincidiu com a terceira dose das FT's 1 e 2 em cada solo ( $NQ = 310 \text{ mg dm}^{-3}$ ;  $LVAm = 350 \text{ mg dm}^{-3}$  e  $LVAr = 400 \text{ mg dm}^{-3}$ ). Para a aplicação dos tratamentos, considerou-se o teor de  $P_2O_5$  total das fontes. Avaliaram-se a disponibilidade de nutrientes no solo, os teores foliares de nutrientes no início do florescimento, a produção de matéria seca e de grãos da soja, bem como o conteúdo e eficiência de utilização de P nos diversos tratamentos. Para as FT's 1 e 2 foram determinados os níveis críticos foliares de P. O aumento nas doses das FT's elevou os teores de P e Mg disponíveis, bem como o pH dos solos e reduziu os teores foliares de Ca, Mn e Zn. O fornecimento de fósforo pela aplicação das FT's 1 e 2 provocou aumentos na produção de matéria seca e de grãos da soja. O uso das FT's, isoladamente ou em mistura com o superfosfato triplo, proporcionou crescimento vegetativo e produção equiparáveis aos tratamentos com superfosfato triplo e termofosfato. O aumento no fator capacidade de P do solo restringiu a absorção e contribuiu para maior eficiência de utilização do nutriente pela soja, nivelando os efeitos dos tratamentos.

---

\* Comitê Orientador: Prof. Antônio Eduardo Furtini Neto - UFLA (Orientador)  
Prof. Álvaro Vilela de Resende - UFLA  
Prof. Valdemar Faquin - UFLA

## ABSTRACT

**BEDIN, Ivan. Phosphate fertilizers in soybean crops. 2002. 65p. Thesis (Master in Soil Science and Plant Nutrition) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.\***

Brazilian agriculture uses soils naturally deficient in P. It is well known that the efficiency of P fertilizers greatly influences yield. Increasing efficiency is a common objective of fertilizers industries and farmers looking for more competitive products and lower cost/benefit ratios. The efficiency of three new phosphate fertilizers (test sources, TS) was assessed and compared to traditional P fertilizers in terms of nutrition and yield of soybeans. The soybeans were cultivated in a greenhouse on three widely different soils: a sandy Quartzarenic Neosol (NQ), a loamy dystrophic Red-Yellow Latosol (LVAm), and a clayey dystrophic Red-Yellow Latosol (LVAr). A randomized complete block design with four replications and treatments in a factorial scheme was used. Two TS (1 and 2) were evaluated in four doses, in a 2 x 4 factorial with eight additional treatments [triple superphosphate with calcitic lime, triple superphosphate with dolomitic lime, triple superphosphate + TS1, and triple superphosphate + TS2, Yoorin magnesium thermophosphate, Araxá rock phosphate, TS3, and a control (no P)]. The treatments with mixtures were at a 1:1 ratio of total  $P_2O_5$ . The doses for TS1 and TS2 were defined based on the remaining-P analysis and were different for each soil. The P dose for the additional treatments was the same as the third level of P in TS1 and TS2 for every soil (NQ = 310 mg dm<sup>-3</sup>; LVAm = 350 mg dm<sup>-3</sup>, and LVAr = 400 mg dm<sup>-3</sup>). The total  $P_2O_5$  content of the sources was considered for calculating the dose to be applied. The availability of nutrients in the soil, the content of nutrient in the leaves at the beginning of flowering, the dry matter production, and the grain yield of the soybeans were assessed. The critical leaf P levels were determined for TS1 and TS2. The supply of P by TS1 and TS2 increased the soybean dry matter production and the grain yield. Increases in the TS doses increased the P and Mg availability and the soil pH, but reduced Ca, Mn, and Zn in the leaves. The use of TS's, separately or in mixture with the triple superphosphate, provided vegetative growth and production of the soybean comparable to the treatments with the triple superphosphate and thermophosphate. The increase in the P capacity factor of the soil restricted the P uptake and contributed to larger P use efficiency for soybeans, leveling-off the effect of the treatments.

---

\* Guidance Committee: Prof. Antônio Eduardo Furtini Neto - UFLA (Major Professor)  
Prof. Álvaro Vilela de Resende - UFLA  
Prof. Valdemar Faquin - UFLA

## 1. INTRODUÇÃO

A produtividade das culturas depende, entre outros fatores, do adequado suprimento de nutrientes, sendo o fornecimento de fósforo via adubação uma prática essencial nos solos brasileiros. A deficiência de fósforo nos solos tropicais é intensa devido à ocorrência de forte acidez e à presença de grandes proporções de argila sesquioxídica, o que aumenta muito a adsorção de fosfatos e a formação de precipitados com ferro e alumínio, reduzindo, conseqüentemente, a disponibilidade de P para as plantas (Sanchez & Salinas, 1981).

Nesse contexto, a busca de fontes de P mais eficientes e/ou de menor custo se torna imperativa do ponto de vista agrônômico. Um adubo mais barato e com bom grau de eficiência é conveniente aos agricultores, que vêem no elevado custo da adubação um grande entrave para a produção agrícola.

Além disso, salienta-se a necessidade de utilizar, de maneira racional, os depósitos brasileiros de rochas fosfatadas que, tratando-se de recurso natural não-renovável, constituem a matéria prima para a fabricação dos fertilizantes fosfatados produzidos no país.

Tradicionalmente, sabe-se que as características de solubilidade das fontes de P são de extrema importância em relação à sua eficiência; os fosfatos de maior solubilidade, sendo mais prontamente disponíveis, favoreceriam a absorção e o aproveitamento do nutriente, principalmente pelas culturas de ciclo curto (rápido crescimento).

No entanto, essa rápida liberação do fósforo pode também favorecer o processo de adsorção e precipitação das formas solúveis pelos componentes do solo, originando compostos fosfatados de baixa solubilidade e indisponibilizando o nutriente para as plantas, sendo tal fenômeno mais expressivo quanto mais argiloso for o solo. Dessa maneira, os fertilizantes de

menor reatividade, ao disponibilizarem mais lentamente o P, minimizariam os processos de fixação e favoreceriam uma maior eficiência de utilização pelas culturas (Novais & Smyth, 1999).

O atendimento da demanda da cultura com um mínimo de fixação de fósforo no solo, constitui o aspecto principal do que é desejável em termos de otimização da fertilização fosfatada. Assim sendo, pode-se esperar que tal objetivo seja alcançado mais facilmente quando a fonte utilizada apresentar uma velocidade de liberação correlacionada com a exigência ou capacidade de aproveitamento da cultura ao longo do seu ciclo de desenvolvimento.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar, em condições de casa de vegetação, a eficiência de fontes de fósforo para a soja cultivada em solos com diferente capacidade tampão de fosfato.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Consumo de fertilizantes fosfatados na cultura da soja

As reservas mundiais de rochas fosfatadas que são ou poderiam ser exploradas, mantendo-se os níveis tecnológicos, os custos de produção e a comercialização atuais, têm tempo de utilização futura bastante limitado, estimado em aproximadamente 80 anos de exploração (Johnston, 2000). Entretanto, a prevalecer a crescente demanda por fertilizantes fosfatados, com estimativas de elevar o atual custo de produção de US\$ 36 por tonelada para US\$ 90 por tonelada, jazidas que hoje são inviáveis para mineração econômica, potencialmente o seriam no futuro, aumentando para 240 anos o tempo de exploração desse recurso natural (FAO, 1999).

Dessa forma, devido às limitadas reservas de P, a falta de fertilizantes fosfatados pode tornar-se um sério problema no futuro (Mucchal et al., 1996; Abelson, 1999).

No Brasil, o aumento no consumo e o uso eficiente de fertilizantes minerais, mantidos nos últimos anos, foi fundamental para o incremento da produção e da produtividade da maioria das culturas, a exemplo da soja, uma cultura muito rústica, que juntamente com o arroz, permitiu a ocupação das fronteiras agrícolas no cerrado, com a vantagem de melhorar acentuadamente a fertilidade do solo (Tanaka et al., 1993).

A expansão vertiginosa da cultura da soja observada a partir da década de 70, não apenas na região Sul, mas também nos estados do Centro-oeste do Brasil, deveu-se, também, ao desenvolvimento de novos cultivares adaptados às diferentes regiões agroclimáticas do país. Tal fato, aliado às técnicas de manejo do solo, fez do Brasil o segundo maior produtor mundial, sendo que a tecnologia



de produção e a produtividade dessa cultura no país têm progredido de forma estável e significativa nas últimas safras (Borém, 1999).

Atualmente, essa cultura é responsável pelo maior consumo de fertilizantes no país, com cerca de 25% do total, seguida de perto pela cana-de-açúcar (20%) e milho (18%). Como na cultura da soja, praticamente 100% do nitrogênio necessário é obtido através da fixação biológica do  $N_2$  atmosférico (Vitti & Luz, 1998), o grande entrave dos agricultores, nos primeiros anos da abertura das novas áreas agrícolas, está na adequada correção dos solos geralmente ácidos e, particularmente no manejo das adubações fosfatadas, tendo em vista a dinâmica do P nos solos das regiões produtoras (Tanaka et al., 1993).

## **2.2. Adubação fosfatada em solos tropicais**

Atentando-se para o fato de que os fertilizantes fosfatados continuarão a desenvolver um papel indispensável na viabilização da agricultura intensiva e na produção de alimentos, Vance (2001) enfatiza a necessidade da sustentabilidade do uso de P na agricultura. Nesse aspecto, torna-se importante o desenvolvimento de novas tecnologias de maximização da produção, efetivadas, em parte, pela utilização de fontes alternativas de fertilizantes, que permitam maior flexibilidade no manejo dos solos.

De acordo com Lal (1994), maximizar a produção por unidade de "input" de energia (como fósforo) é condição inerentemente ligada à manutenção da sustentabilidade agrícola. Entretanto, é difícil, nas condições do cerrado ou daquelas regiões em que predominam solos mais intemperizados, manter a sustentabilidade da atividade agrícola sem alterações profundas no "status" inicial do P.

As crescentes adições de fertilizantes aos solos nas novas áreas incorporadas ao setor agrícola brasileiro têm reflexo direto e majoritário no

custo de produção das principais culturas do país. Essa energia financeira despendida tem se tornado fator de vulnerabilidade do processo produtivo (Tsunechiro & Ferreira, 1996).

Em Fertilidade do Solo, o conceito fonte-dreno refere-se à inter-relação dos compartimentos solo e planta e a produtividade das culturas (drenos) depende, entre outros fatores, do adequado suprimento de nutrientes pelo solo (fonte). A tensão dinâmica entre esses dois compartimentos, dependendo de sua magnitude e sentido, pode caracterizar o solo como grande dreno de nutrientes, particularmente no caso do fósforo em solos tropicais.

Nos solos mais argilosos, em geral com elevado Fator Capacidade de Fósforo (FCP), o gasto de fertilizantes para aumentar o irrisório P-disponível original é muito grande, principalmente nos primeiros anos de abertura de novas áreas. De acordo com Szabolcs (1994), a sustentabilidade do uso do solo está intimamente relacionada com o poder tampão químico deste. Entretanto, os solos tropicais mais argilosos, mais tamponados, não refletem o caráter conceitual de sustentabilidade, sendo caracterizados como fortes drenos de P (Novais & Smyth, 1999).

Como os solos sob cerrado normalmente levam de 4 a 5 anos para serem corrigidos antes de passarem a responder em níveis adequados de produtividade (Lopes 1983), o caráter dreno de P é fator decisivo para a produção agrícola dessas áreas, sendo os solos mais arenosos, do domínio cerrados, mais facilmente convertidos ao processo produtivo.

Segundo Novais (1996), desde a abertura e utilização agrícola do cerrado brasileiro, as produtividades nos solos arenosos têm se mantido acima das dos solos mais argilosos. Prova cabal dessa situação é a maior rentabilidade obtida pelos agricultores cujas áreas estão localizadas em solos mais arenosos, com menor FCP. Todavia, nesses solos, a atividade agrícola também não tem caráter

sustentável, sendo sua exploração, portanto, mantida pela facilidade de tornar o solo mais produtivo com menor custo (Novais & Smyth 1999).

De modo geral, a baixa eficiência inicial dos adubos fosfatados nos solos tropicais é controlada pelos fenômenos de adsorção de P, intimamente dirigidos pelos atributos físicos e químicos dos solos (Novais & Smyth, 1999), sendo reflexo das cargas superficiais dos solos, variáveis com o pH e influenciadas principalmente pela proporção relativa de óxidos de Fe e Al, caolinita e matéria orgânica (Lima et al., 2000).

Além disso, durante a dissolução de fertilizantes fosfatados, quando os produtos de solubilidade atingem valores elevados, ocorre a precipitação de P com formas iônicas de Al e de Fe em solos ácidos ou Ca em solos neutros ou alcalinos, formando compostos pouco solúveis (Sample et al., 1980).

Entretanto, os fenômenos de adsorção e precipitação de P no solo apresentam um componente adicional à simples formação de P-lábil (facilmente reversível à solução do solo), que é a formação de P não-lábil (“fixado” ou retido de forma praticamente não-reversível pelo solo). Essa fração de P no solo não se encontra em equilíbrio com o P em solução, pelo menos em curto prazo, o que inviabiliza ou dificulta à planta ter acesso ao P dessa forma, uma vez que o P-solução absorvido pela planta não será repostado pelo P não-lábil, mas sim pelo P lábil (Novais & Smyth, 1999).

A magnitude e intensidade das reações de P nos solos argilosos tropicais são verificadas nos trabalhos de Fernández (1995) e Ker (1995), em que mais de  $2 \text{ mg cm}^{-3}$  de P são adsorvidos à matriz dos solos, valor este equivalente a  $9.200 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , incorporados de 0-20 cm de profundidade. Desse total, aproximadamente metade do P poderá ser fixado em até um mês de contato com o solo, passando para formas não-lábeis, com pequena reversibilidade do processo (dessorção) (Campello et al., 1994).

Portanto, enquanto plantas de cultivo anual, como a soja, imobilizam em toda a sua biomassa aproximadamente 20 kg ha<sup>-1</sup> de P, o solo pode imobilizar cem vezes mais em formas não-lábeis, com os procedimentos usuais de manejo (Novais & Smyth, 1999).

Nesse contexto, embora a exigência de fósforo pelas culturas seja pequena comparada à de outros nutrientes, em função da intensa fixação (retenção) de fosfatos e das condições climáticas favoráveis ao rápido crescimento das plantas, o fornecimento de fósforo via adubação é prática essencial em solos brasileiros, a fim de melhorar seu caráter fonte de P.

Qualquer processo que favoreça o solo como dreno de P, em uma dinâmica superior à demanda da planta, causará diminuição na simetria entre liberação de P dos fertilizantes fosfatados e o crescimento das culturas, de modo que a planta seja desfavorecida. Tal fato fez com que as adubações fosfatadas fossem concentradas no sulco de plantio como uma saída econômica e não biológica para aumentar a eficiência das adubações, uma vez que para a solução biológica deveria ser utilizada grande dose de P aplicada em todo o volume do solo (Novais & Smyth, 1999).

### **2.3. Eficiência da adubação fosfatada**

O fato de que os fosfatos são recursos naturais não-renováveis escassos e sem sucedâneos, reforçado pela necessidade de minimização dos custos de produção das culturas, ressalta a importância de estudos relacionados à busca de fertilizantes fosfatados de maior eficiência para as culturas.

Somente a partir do início da década de 70, face à elevação dos preços de fosfatos solúveis e da dependência externa vigente no país, as pesquisas de avaliação de novas fontes de fósforo adquiriram relevância (Defilippe, 1990).

Impulsionadas por processos produtivos cada vez mais onerosos, decorrentes do uso de ácidos e reagentes importados para a fabricação de adubos de alta solubilidade (Ballio, 1981), as empresas vinculadas ao setor de fertilizantes financiaram ensaios com novos produtos oriundos de inovações tecnológicas a fim de obter fontes de fósforo mais competitivas para uma agricultura em expansão num ambiente edafoclimático com particulares características, como o ecossistema cerrados.

Do ponto de vista agrônômico, a característica que melhor avalia uma fonte de fósforo é sua capacidade de produzir um efeito eficaz no fornecimento do nutriente às plantas, ou seja, sua capacidade de provocar o maior acréscimo de rendimento por unidade de P aplicado (Goedert & Sousa, 1984).

Nesse sentido, além das características dos fertilizantes (doses, solubilidade, propriedades físico-químicas e mineralogia) e das condições de solo, a eficiência dos adubos fosfatados varia conforme a espécie vegetal e o manejo de solo considerados (Engelstad & Terman, 1980).

A taxa de absorção dos principais nutrientes ao longo do ciclo da soja tem um pico que coincide com o período de enchimento das vagens. No caso do P, da emergência até o estágio V6 (6º trifólio completamente desenvolvido acima do 5º nó) a soja absorve 9,2% do total, 21% de V6 até a completa floração (estádio R2) e 70% do total após R2 (Yamada, 2000).

Portanto, fontes de P solúveis, aplicadas por ocasião do plantio, têm grande probabilidade de solubilizarem antes do período de maior exigência da cultura, possibilitando um maior tempo de contato do P-solução com o solo, favorecendo a fixação e levando, conseqüentemente, à redução do aproveitamento do nutriente pela cultura.

Alguns trabalhos têm mostrado grande ajuste da planta à utilização do P absorvido em solos com diferentes valores de FCP (Muniz et al., 1985; Novais et al., 1993; Fernández R., 1995). Segundo esses autores, a maior ou menor

competição com o solo pelo P aplicado como fertilizante faz com que a planta se ajuste para utilizar o teor de P que lhe é colocado à disposição, explicando os menores níveis críticos encontrados nos solos mais tamponados.

Dessa forma, é de se esperar que o uso de um fertilizante fosfatado com liberação mais lenta de P force a planta à maior eficiência de uso do nutriente suprido ao longo do período de cultivo, com a vantagem de menor probabilidade de fixação do P antes que a planta esteja apta a absorvê-lo (sistema radicular formado).

A variação genética no crescimento vegetal em solos pobres em P e o uso de caracteres nutricionais no melhoramento começaram a ser explorados como estratégias para aumentar a eficiência dos fertilizantes e para obter maior produtividade (Clark & Duncan, 1991). Tem-se detectado que muitas espécies vegetais têm a capacidade de solubilização de fontes de P pouco solúveis, por meio de mudanças no ambiente rizosférico, o que pode ocorrer por mecanismos de abaixamento do pH ou exsudação de ácidos orgânicos (Ryan & Delhaize, 2001).

A identificação de ácido cítrico na rizosfera de plantas de soja foi associada com a tolerância à toxidez de alumínio e atenuação de reações de precipitação entre o alumínio e fosfato na solução do solo (Yang et al., 2000). Ácidos orgânicos competem com grupos fosfato pelos sítios de ligação no solo e formam complexos mais fortes com Al, Fe e Ca em comparação àqueles desenvolvidos entre esses cátions e o fosfato, aumentando a disponibilidade de P (Ryan & Delhaize, 2001).

Conforme essas premissas, o uso de fertilizantes fosfatados, ou misturas desses, que possibilitem o atendimento da demanda da cultura com um mínimo de fixação de fósforo no solo, constitui o aspecto principal do que é desejável em termos de otimização da fertilização fosfatada, ou seja, quando a fonte utilizada apresenta uma velocidade de liberação correlacionada com a exigência

ou capacidade de aproveitamento da cultura ao longo do seu ciclo de desenvolvimento.

A avaliação de novas fontes de fósforo, considerando diferenças de doses, solos e a espécie vegetal, contribui para melhor discriminação da eficiência e adequação da forma de uso de tais produtos, comparativamente aos fertilizantes fosfatados tradicionais.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

Três experimentos foram conduzidos em vasos de três dm<sup>3</sup>, em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, no período de fevereiro a junho de 2001. Utilizaram-se amostras da camada superficial (0-20 cm) de três solos sob cerrado, distintos quanto à capacidade tampão de fosfato: Neossolo Quartzarênico (NQ), Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura média (LVAm) e Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura argilosa (LVAr). Foram testadas seis fontes de fósforo, utilizando-se a soja como planta teste.

#### **3.1. Caracterização dos solos utilizados**

Os materiais de solo foram secos ao ar, tamisados em peneira com malha de 5 mm de abertura e posteriormente caracterizados química e fisicamente (Tabela 1).

O pH em água (1:2,5), P, Ca, Mg, Al e K foram determinados conforme Vettori (1969) com modificações propostas pela Embrapa (1997). Determinaram-se Ca, Mg e Al trocáveis após extração com KCl 1 mol L<sup>-1</sup> e P e K disponíveis pelo extrator Mehlich-1. Também foram realizadas determinações do P disponível pela Resina de Troca Iônica (Raij et al., 1986), da acidez potencial (H+Al) e carbono orgânico, conforme Raij et al. (1987) e do P remanescente de acordo com Alvarez V. et al. (2000). A granulometria foi determinada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997).

#### **3.2. Delineamento experimental, tratamentos e condução dos experimentos**

Para cada solo, um experimento foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições, em esquema fatorial 2x4 + 8,



sendo 2 Fontes Teste de P provenientes da Fosfertil S.A. - (FT's 1 e 2) – em 4 doses, com oito tratamentos adicionais, totalizando 64 parcelas.

Tabela 1. Principais atributos químicos e físicos dos solos, antes da aplicação dos tratamentos.

Características dos solos	Solo		
	NQ	LVA <sub>m</sub>	LVA <sub>r</sub>
pH em água (1:2,5)	5,5	5,2	4,8
P (mg dm <sup>-3</sup> )	8	1	2
K (mg dm <sup>-3</sup> )	34	33	19
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,5	0,4	0,5
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,2	0,2	0,2
Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,7	0,4	0,5
H + Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3	2	3
P remanescente (mg L <sup>-1</sup> )	33	27	11
Matéria orgânica (dag kg <sup>-1</sup> )	1,3	1,4	3,7
Argila (dag kg <sup>-1</sup> )	5	15	53
Areia (dag kg <sup>-1</sup> )	92	69	27
Silte (dag kg <sup>-1</sup> )	3	16	20
Classe Textural	Arenosa	Média	Argilosa

Análises realizadas nos Laboratórios do DCS/UFLA.

Considerando-se o teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total das fontes (Tabela 2), quatro doses de fósforo das FT's 1 e 2 foram definidas segundo Alvarez V. & Fonseca (1990), com base na análise do P remanescente (Tabela 3). A dose 0 de P (testemunha) foi comum a todos os tratamentos, constituindo um dos tratamentos adicionais.

Uma terceira Fonte Teste também da Fosfertil S. A. (FT3) foi incorporada ao ensaio como tratamento adicional, utilizando-se apenas uma

dose, a terceira dose utilizada para as FT's 1 e 2, correspondente a 310, 350 e 400 mg dm<sup>-3</sup> P, respectivamente para os solos NQ, LVAm e LVAr (Tabela 3).

Pretendendo-se melhor discriminar os efeitos das FT's, foram utilizados mais seis tratamentos adicionais, na mesma dose da FT3: superfosfato triplo + calcário calcítico para a correção da acidez (ST+CC); super triplo + calcário dolomítico - tratamento referência (ST+CD); misturas superfosfato triplo + FT1 (ST+FT1) e superfosfato triplo + FT2 (ST+FT2) na relação 1:1 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total; termofosfato magnésiano Yoorin (TM) e fosfato de Araxá (FA) (Tabela 4).

Tabela 2. Caracterização química das fontes fosfatadas utilizadas nos experimentos.

Composição <sup>5</sup>	Fertilizantes Fosfatados					
	FT 1 <sup>1</sup>	FT 2 <sup>1</sup>	FT 3 <sup>1</sup>	ST <sup>2</sup>	TM <sup>3</sup>	FA <sup>4</sup>
	%					
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total	28	25	33	46,0	18,0	24,0
MgO "	34	33	36	-	7,0	-
CaO "	2	3	3	13,0	20,0	40,0
SiO <sub>2</sub> "	13	20	15	-	25	-

<sup>1</sup>Produtos em teste desenvolvidos pela Fosfertil S.A. <sup>2</sup>Superfosfato triplo. <sup>3</sup>Termofosfato magnésiano Yoorin. <sup>4</sup>Fosfato de Araxá. <sup>5</sup>Fornecida pela Fosfertil S.A. = FT1, FT2 3 FT3; garantida pelo fabricante = ST, TM e FA.

Tabela 3. Doses de P utilizadas, em função da análise do P remanescente (P-rem) dos solos.

Solo	P-rem (mg L <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	Doses de P (mg.dm <sup>-3</sup> )	Identificação das doses de P	Dose de calcário <sup>2</sup> (ton ha <sup>-1</sup> )
NQ	33,1	60 - 180 - 310 - 620	1 - 2 - 3 - 4	2
LVAm	27,0	70 - 210 - 350 - 700	1 - 2 - 3 - 4	2
LVAr	11,4	80 - 240 - 400 - 800	1 - 2 - 3 - 4	4

<sup>1</sup> Referenciando-se na análise de P-rem, a Capacidade Tampão de P dos solos NQ, LVAm e LVAr foi classificada em baixa, média e alta, respectivamente (Alvarez & Fonseca, 1990). <sup>2</sup> Doses estimadas por curvas de incubação previamente definidas para cada solo.

Precedendo a aplicação dos tratamentos, os materiais de solo receberam calcário (Tabela 3) individualmente para cada vaso e foram incubados por 22 dias, umedecidos a 60% do volume total de poros - VTP (Freire et al., 1980), objetivando-se valores de pH próximos de 5,5 para todos os solos.

Em todas as parcelas, além da correção da acidez do solo e aplicação dos tratamentos com P, efetuou-se, para os demais nutrientes, uma adubação básica com reagentes p.a., balanceada para que somente a quantidade de P variasse (Tabela 5).

Tabela 4. Resumo dos tratamentos utilizados nos experimentos.

FATORIAL			
Tratamentos	Dose de P*	Calagem	Adubação Plantio
Fonte Teste 1 (FT 1)	1 a 4	Calc.Calcítico	+
Fonte Teste 2 (FT 2)	1 a 4	Calc.Calcítico	+
ADICIONAIS			
Tratamentos	Dose de P*	Calagem	Adubação Plantio
Fonte Teste 3 (FT 3)	3	Calc.Calcítico	+
ST + Calc. Calcítico (ST + CC)	3	Calc.Calcítico	+
ST + FT 1	3	Calc.Calcítico	+
ST + FT 2	3	Calc.Calcítico	+
ST + Calc. Dolomítico (ST + CD)	3	Calc. Dolomítico	+
Termofosfato (TM)	3	Calc.Calcítico	+
Fosfato de Araxá (FA)	3	Calc.Calcítico	+
Testemunha	-	Calc.Calcítico	+

\* Vide Tabela 3

Depois da aplicação dos tratamentos procedeu-se à semeadura de seis sementes de soja previamente inoculadas com rizóbio, cultivar Conquista (MG/BR-46), mantendo-se, por meio de desbaste, três plantas por vaso.

Durante o período de condução dos experimentos, a umidade foi controlada diariamente por meio de irrigação com água deionizada. Uma adubação de cobertura, utilizando sulfato de potássio, foi realizada aos 60 dias após o plantio (DAP), para todos os tratamentos fornecendo  $50 \text{ mg dm}^{-3}$  de K e  $20 \text{ mg dm}^{-3}$  de S. Os tratamentos testemunha e com fosfato de Araxá receberam metade da dose em virtude do reduzido crescimento vegetativo. O nitrogênio foi fornecido exclusivamente pela fixação biológica.

Tabela 5. Resumo da adubação básica de plantio.

Adubação de Plantio ( $\text{mg dm}^{-3}$ )								
Todos os tratamentos								Fosfato de Araxá
K <sup>1</sup>	S <sup>2</sup>	B <sup>3</sup>	Cu <sup>4</sup>	Mn <sup>5</sup>	Zn <sup>6</sup>	Mo <sup>7</sup>	Fe <sup>8</sup>	Mg <sup>9</sup>
150	50	0,5	1,5	3,6	5,0	0,15	4,0	50

<sup>1</sup> Fornecido na forma de sulfato de potássio -  $\text{K}_2\text{SO}_4$  e cloreto de potássio -  $\text{KCl}$ . <sup>2</sup> Na forma de sulfato de potássio -  $\text{K}_2\text{SO}_4$ . <sup>3</sup> Na forma de ácido bórico -  $\text{H}_3\text{BO}_3$ . <sup>4</sup> Na forma de sulfato de cobre -  $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ . <sup>5</sup> Na forma de sulfato de manganês -  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . <sup>6</sup> Na forma de sulfato de zinco -  $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . <sup>7</sup> Na forma de molibdato de amônio -  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot \text{H}_2\text{O}$ . <sup>8</sup> Na forma de Sulfato de ferro -  $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ . <sup>9</sup> Na forma de sulfato de magnésio -  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  e cloreto de magnésio -  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .

### 3.3 Avaliação dos experimentos

Amostras de solo retiradas verticalmente na profundidade dos vasos utilizando cilindro de coleta, foram submetidas à análise química de fertilidade para caracterização dos efeitos dos tratamentos nos solos em três épocas ao longo do ciclo da cultura: 15, 65 e 120 DAP.

Por ocasião do início do florescimento da soja (65 DAP), foi colhida a parte aérea de uma planta de cada parcela, deixando-se apenas duas plantas por vaso. Na mesma época, em todas as plantas foram coletadas folhas fisiologicamente maduras (3ª e 4ª folhas com pecíolo), as quais foram secas em

estufa, sendo posteriormente trituradas e submetidas à análise química para determinação dos teores totais de nutrientes (Malavolta et al., 1997).

Para tal finalidade, as amostras vegetais foram mineralizadas por digestão nítrico-perclórica (Zaroski & Burau, 1977), obtendo-se extratos nos quais foram determinados os teores de Ca, Mg, Mn e Zn por espectrometria de absorção atômica (Malavolta et al., 1997), e P, por colorimetria (Braga & Defelipo, 1974).

Conduziu-se a soja até o final do ciclo (120 DAP), ocasião em que a parte aérea das duas plantas remanescentes foi colhida, sendo os grãos manualmente retirados das vagens para avaliação da produção. O peso dos grãos de cada parcela foi corrigido para 14 % base úmida.

Caules e vagens foram secos em estufa juntamente com as folhas que senesceram e caíram ao longo do ciclo da cultura, a fim de determinar a produção de matéria seca da parte aérea da soja (MS).

Os grãos foram secos em estufa e triturados, sendo os teores de Ca, Mg e P determinados pelo mesmo procedimento analítico efetuado para as folhas coletadas no florescimento. Foi calculado o acúmulo de Ca, Mg e P nos grãos. A eficiência de utilização de P (EUP) pela soja foi obtida de acordo com a expressão:  $EUP = [(matéria\ seca\ de\ grãos)^2 \cdot (P\ acumulado\ nos\ grãos)^{-1}]$ , segundo Siddiqi & Glass (1981).

Utilizando o programa SISVAR (DEX/UFLA), os dados foram submetidos a análises de variância e testes de médias (Scheffé, 5%) para avaliar as diferenças entre tratamentos. Para as FT's 1 e 2, foram ajustadas equações de regressão para teor foliar de P e produção de grãos, como variáveis dependentes (Y) das doses de P aplicadas (X).

A partir dos modelos de regressão, foram estimadas as doses de P para a obtenção da produção máxima de grãos e as doses equivalentes a 90 % da produção máxima (produção econômica), bem como as doses das FT's 1 e 2

equivalentes à produção do tratamento referência (ST+CD). Com base nas doses que proporcionaram as produções econômicas, foram definidos os níveis críticos foliares de P.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

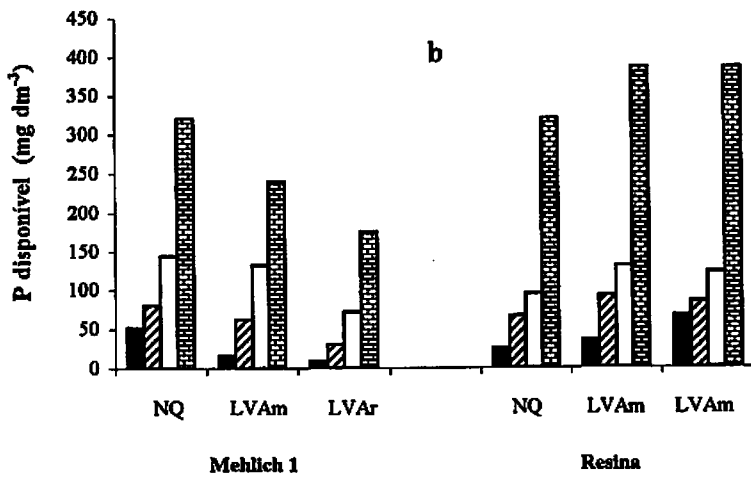
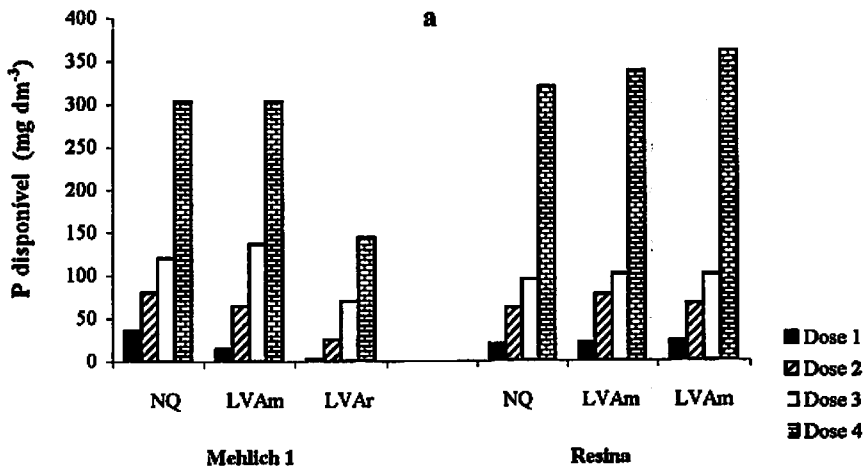
### 4.1. Disponibilidade de nutrientes no solo

Conforme a concepção metodológica desse estudo, na seqüência NQ - LVAm - LVAr tem-se desde um material pedológico mais inerte na solubilização das fontes fosfatadas (o solo NQ, menos tamponado, pouco interage nas reações de solubilização) até um solo com elevado tamponamento (alto fator capacidade de P - FCP no LVAr). O solo LVAm apresenta comportamento intermediário quanto à capacidade tampão de fosfato.

Na Figura 1, verifica-se que o incremento nas doses das Fontes Teste (FT's) 1 e 2 proporcionou aumento na disponibilidade de P nos solos, tanto pelo extrator Mehlich 1 (P-Mehlich) quanto pela Resina de Troca Aniônica (P-Resina).

Observa-se também tendência de decréscimo no P-Mehlich com o aumento no teor de argila dos solos (NQ>LVAm>LVAr), apesar do uso de doses distintas (Tabela 3), crescentes com o aumento da capacidade tampão de fosfato dos solos (Alvarez V. & Fonseca, 1990).

Esse decréscimo no P disponível pelo Mehlich, provavelmente, está relacionado ao efeito da variação do FCP dos solos estudados (LVAr>LVAm>NQ) sobre o desgaste do extrator (Novais & Smyth, 1999). De acordo com esses autores, nos solos mais argilosos, com elevado FCP e acidez mais tamponada, o pH inicial de 1,2 do Mehlich-1 é rapidamente elevado para valor de pH próximo ao do solo. O ânion  $\text{SO}_4^{-2}$  do extrator, que atua por troca com o fosfato adsorvido, é também rapidamente adsorvido ao solo em sítios ainda não ocupados pelo P, levando à perda do poder de extração, sendo menores os valores de P disponível obtidos.



**FIGURA 1.** Fósforo disponível no solo pelos extratores Mehlich 1 e Resina Trocadora de Ânions em função das doses das Fontes Teste 1(a) e 2(b).



A semelhança dos valores de P-Resina, observada em cada nível das FT's nos solos estudados (Figura 1), confirma a baixa sensibilidade desse método de extração ao FCP dos solos (Novais & Smyth, 1999) e a consistência da metodologia do P-remanescente para definir doses de P variáveis em solos com diferentes FCP (Alvarez V. & Fonseca, 1990). Esse nivelamento dos valores de P-resina (Figura 1), refletiu, conforme esperado, uma significativa supressão do efeito do FCP através da aplicação de doses diferenciadas de P em função do tipo de solo (Tabela 3).

Inferências pertinentes aos tratamentos com as diferentes fontes de P tornam-se mais claras quando se analisam, conjuntamente, as alterações na disponibilidade de P, Ca e Mg nos solos (Figura 2), bem como a variação no pH dos solos ao longo do tempo (Tabela 6).

Na terceira dose aplicada, os valores de P-resina das FT's (Figura 2) apresentaram-se mais elevados do que aqueles verificados para o termofosfato magnésiano (TM) e próximos e/ou superiores aos do superfosfato triplo (ST+CC e ST+CD). Em virtude da amostragem ter sido efetuada apenas 15 dias após a aplicação dos tratamentos, os resultados denotam o caráter bastante reativo das FT's, especialmente em comparação ao fosfato de Araxá (FA). Esses resultados foram também confirmados na amostragem realizada aos 65 dias após o plantio (Tabelas 1A, 2A e 3A).

As diferenças de disponibilidade de Ca e Mg nos solos, verificadas em função dos tratamentos (Figura 2, Tabelas 1A, 2A e 3A), são explicadas pelas variações nas doses das FT's, as quais possuem Ca e principalmente Mg constitutivamente (Tabela 2), bem como pela aplicação diferenciada de calcário calcítico aos solos ( $NQ$  e  $LVA_m = 2 \text{ ton ha}^{-1}$  e  $LVA_r = 4 \text{ ton ha}^{-1}$ ).

Em todos os solos, os teores de Mg disponível proporcionados pelas FT's (FT1, FT2 e FT3) excederam aqueles observados para os demais tratamentos. Mesmo para as misturas ST+FT1 e ST+FT2, os teores de Mg

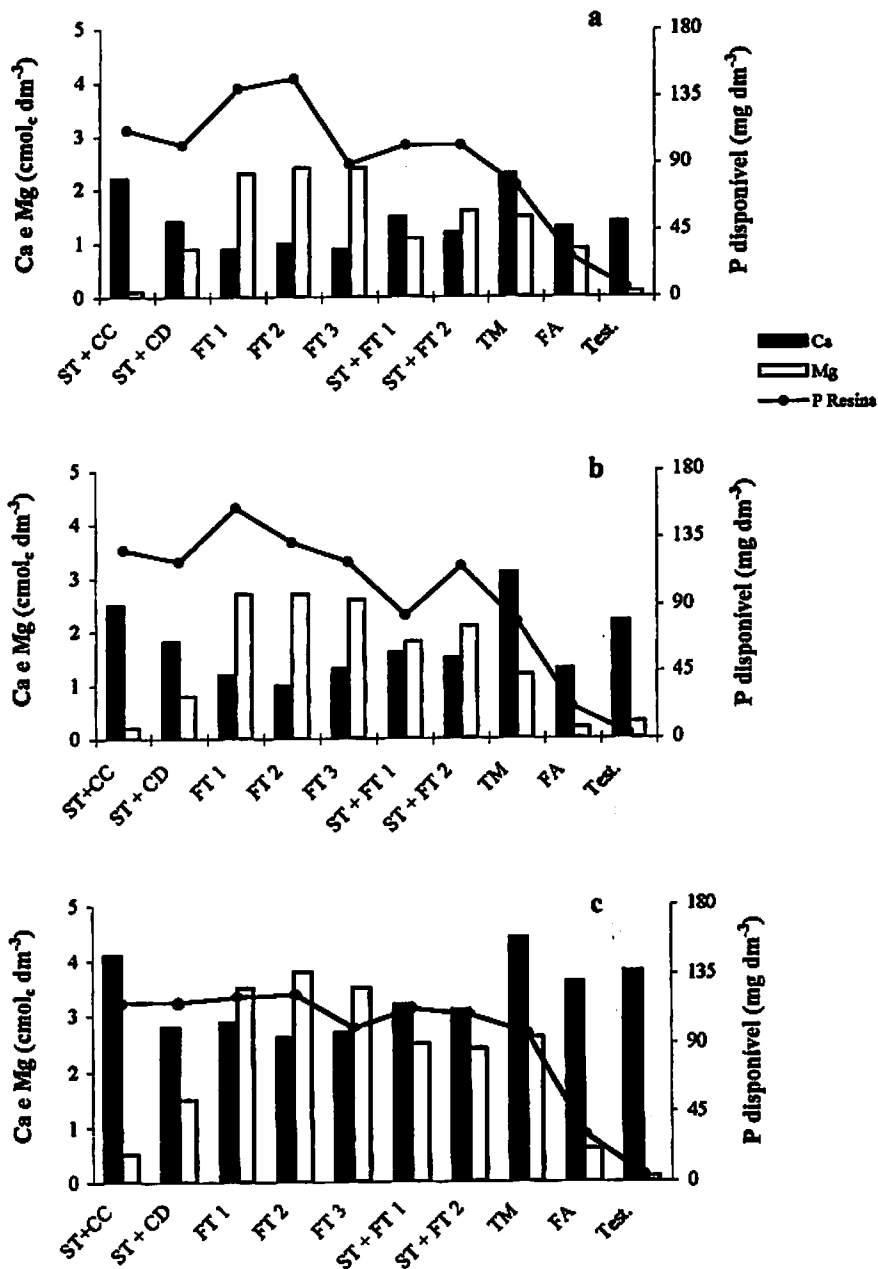


FIGURA 2. Disponibilidade de Ca, Mg e P (P-Resina) nos solos NQ (a), LVAm (b) e LVAr (c) em função de diferentes fontes fosfatadas, aos 15 dias após o plantio.

TABELA 6. Variações no pH dos solos NQ, LVAm e LVAr ao longo do tempo (dias após plantio – DAP), em função dos tratamentos.

Tratamentos	NQ			LVAm			LVAr		
	DAP			DAP			DAP		
	15	65	120	15	65	120	15	65	120
Fonte Teste (FT1) Dose 1	5,7	5,7	5,8	6,4	6,2	6,2	5,7	6,0	6,2
FT1 Dose 2	5,9	5,7	5,8	6,6	6,2	6,3	5,9	6,2	6,2
FT1 Dose 3	6,3	6,0	6,3	6,8	6,5	6,7	6,3	6,6	6,6
FT1 Dose 4	6,3	6,9	6,9	7,1	7,3	7,3	6,3	6,9	7,0
Fonte Teste 2 (FT2) Dose 1	6,5	6,0	5,8	6,4	6,0	6,4	6,5	6,4	6,5
FT2 Dose 2	6,5	6,0	6,0	6,9	6,4	6,5	6,5	6,6	6,6
FT2 Dose 3	6,6	6,2	6,4	7,0	6,6	6,9	6,6	6,9	6,8
FT2 Dose 4	6,8	7,1	7,2	7,2	7,4	7,5	6,8	7,2	7,2
Fonte Teste 3 (FT3)	6,8	6,5	6,5	7,1	6,9	7,0	6,8	6,8	7,0
ST + Calc. Calcítico (ST+CC)	6,2	5,2	5,4	6,3	5,6	5,4	6,2	5,7	5,8
ST + FT1	6,0	5,6	5,6	6,6	5,8	5,8	6,0	6,0	6,0
ST + FT2	6,2	5,6	5,6	6,6	5,8	5,9	6,2	6,1	6,1
ST + Calc. Dolomítico (ST+CD)	6,2	5,3	5,1	6,3	5,3	5,1	6,2	5,6	5,6
Termofosfato (TM)	6,6	6,3	6,4	7,0	6,8	7,0	6,6	6,7	6,8
Fosfato de Araxá (FA)	6,3	5,9	5,9	6,8	6,0	5,9	6,3	6,3	6,3
Testemunha	6,1	6,0	6,0	6,1	6,1	6,2	6,1	5,9	6,2

disponível mantiveram-se bastante próximos e até superiores ao tratamento TM.

As doses crescentes das FT's 1 e 2, e a FT3 provocaram aumentos no pH de todos os solos ao longo do tempo (Tabela 6). Quando comparados na terceira dose de P, os valores de pH são próximos daqueles verificados para o tratamento TM, fosfato com efeito alcalinizante do solo (Novais & Smyth, 1999).

A mudança no pH dos solos nos tratamentos envolvendo as FT's, já na primeira amostragem (15 DAP), reforça a característica de alta solubilidade e reatividade desses fertilizantes.

#### 4.2. Teores foliares de nutrientes

Como para os três solos não houve interação significativa dos fatores Fontes x Doses, bem como efeito de fontes (Tabelas 1B, 2B e 3B), as variações nos teores foliares de P das plantas de soja, em função das doses, foram explicadas por um único modelo, válido para as FT's 1 e 2.

O aumento da disponibilidade de P, à medida que doses crescentes do nutriente foram aplicadas aos três solos (Figura 1), proporcionou incrementos lineares no teor de P das folhas de soja coletadas por ocasião do florescimento (Figura 3).

Nas tabelas 7, 8 e 9 são apresentados, respectivamente, para os solos NQ, LVAm e LVAr, os teores foliares de P, Mg e Ca em todos os tratamentos, no florescimento da soja (65 DAP).

Pela análise das Tabelas 7, 8 e 9, nota-se, que os tratamentos envolvendo as FT's 1 e 2 na primeira dose, o FA e a testemunha apresentaram teores foliares de P abaixo da faixa de suficiência (2,6 a 5,0 g kg<sup>-1</sup>) para o desenvolvimento ótimo da soja em condições de campo (Embrapa, 1998; Comissão..., 1999). Tais

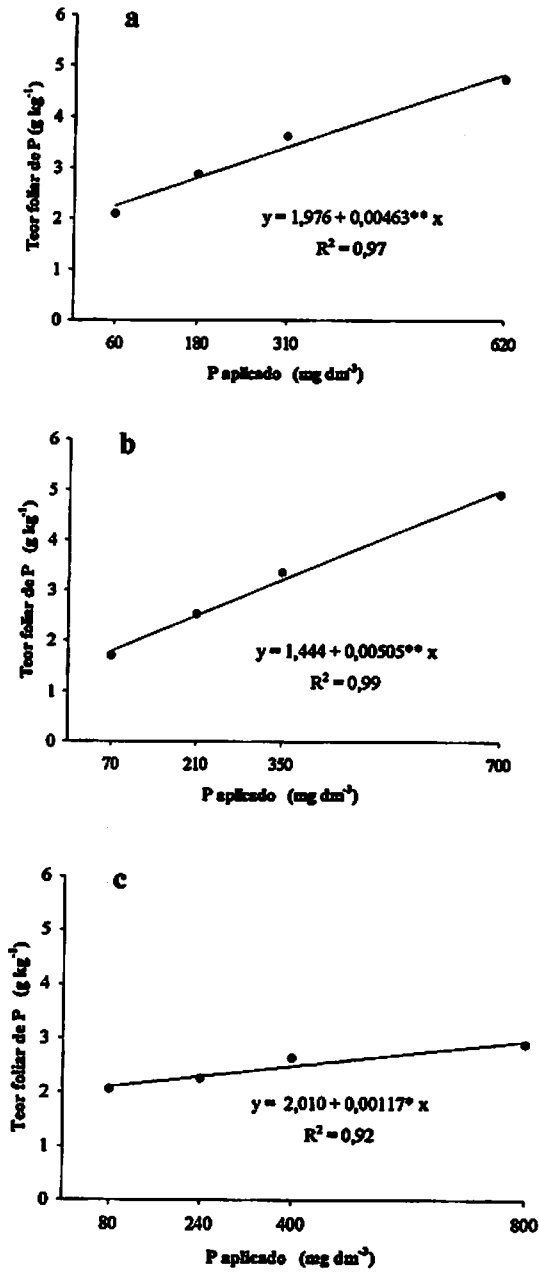


FIGURA 3. Teores foliares de P no florescimento da soja, em função de doses das FT's 1 e 2) nos solos NQ (a), LVAm (b) e LVAr (c).

resultados são reflexo da baixa disponibilidade de P nos solos proporcionada pelos tratamentos em questão, conforme se verifica na Figura 1 para a primeira dose das FT's, e na Figura 2 para os tratamentos FA e testemunha.

Mesmo aplicando doses de P relativamente superiores no solo LVAr, a concentração foliar de P por ocasião do florescimento, na maioria dos tratamentos (Tabela 9), manteve-se abaixo daquelas observadas para os demais solos. A explicação para tal fato é a forte competição entre o solo e a planta pelo P aplicado.

Os menores teores foliares de P observados nas plantas desenvolvidas no solo LVAr (Tabela 9), com elevado FCP, e os maiores teores relacionados ao solo NQ (Tabela 7), com menor FCP, confirmam a tendência geral do comportamento vegetal em solos com diferente FCP (Muniz et al., 1985; Fabres et al., 1987; Couto et al., 1992; Carvalho et al., 1995; Novais et al., 1993). No caso em questão, devido principalmente às diferenças na quantidade de argila (Tabela 1), os solos NQ e LVAm proporcionaram maior concentração de P em solução (menor FCP), sendo maior o influxo do nutriente, contribuindo para as maiores concentrações foliares obtidas. O oposto é válido para o solo LVAr.

Esse aparente ajuste da planta à quantidade de P que lhe é colocada à disposição sugere uma possível sensibilidade da planta ao FCP, em virtude da qual, nos solos mais tamponados, o P absorvido seria utilizado mais eficientemente pela soja (Muniz et al., 1985). Entretanto, esses resultados podem ser influenciados por efeitos de concentração ou diluição do P nos tecidos foliares devido às variações na produção de matéria seca (Jarrel & Beverly, 1981).

É relevante o fato de que nos solos LVAm e LVAr os teores foliares de P no tratamento TM ficaram abaixo da faixa de suficiência, sendo inferiores àqueles verificados para os tratamentos com ST e FT's, comparados na terceira dose (Tabelas 8 e 9). Isso poderia ser explicado pela menor disponibilidade de P

TABELA 7. Teores foliares de P, Mg, Ca, Mn e Zn e relação foliar Ca/Mg no florescimento da soja, para o solo NQ, em função dos tratamentos.

Fonte Fosfatada	Dose P mg dm <sup>3</sup>	P	Mg	Ca	Relação Ca:Mg	Mn	Zn
		-----g kg <sup>-1</sup> -----				-----mg kg <sup>-1</sup> -----	
Fonte Teste 1 (FT 1)	60	2,0	4,3	15,2	3,5	57,6	35,3
FT 1	180	2,8	5,5	9,1	1,6	41,4	23,7
FT 1	310	3,6	7,7	7,2	0,9	39,4	19,9
FT 1	620	4,9	8,5	4,3	0,5	31,1	17,8
Fonte Teste 2 (FT 2)	60	2,2	4,9	15,9	3,2	58,5	16,4
FT 2	180	2,9	6,2	10,6	1,7	39,7	23,1
FT 2	310	3,6	7,8	7,3	0,9	35,1	19,1
FT 2	620	4,6	8,1	3,6	0,4	29,2	14,2
Fonte Teste 3 (FT 3)	310	4,1	7,3	8,0	1,1	34,6	14,3
ST + Calc. Calcítico (ST+CC)	310	6,2	1,5	18,7	12,4	117,6	49,9
ST + FT 1	310	4,8	6,1	12,7	2,1	51,15	31,2
ST + FT 2	310	4,5	6,4	11,1	1,7	46,2	28,1
ST + Calc. Dolomítico (ST+CD)	310	4,9	3,6	12,6	3,5	105,4	44,7
Termofosfato (TM)	310	4,0	5,2	14,9	2,8	39,9	23,3
Fosfato de Araxá (FA)	310	1,5	4,7	16,7	3,5	90,1	40,8
Testemunha	0	1,1	2,5	13,7	5,5	57,5	46,1
D.M.S. <sup>1</sup>		1,5	1,5	3,6	3,1	23,7	9,1
C.V.(%)		11,0	7,0	11,4	28,5	11,5	9,8

<sup>1</sup> Diferença mínima significativa pelo teste de Scheffé (P < 0,05).

TABELA 8. Teores foliares de P, Mg, Ca, Mn e Zn e relação foliar Ca/Mg no florescimento da soja, para o solo LVAm, em função dos tratamentos.

Fonte Fosfatada	Dose P mg dm <sup>-3</sup>	P	Mg	Ca	Relação Ca:Mg	Mn	Zn
		-----g kg <sup>-1</sup> -----				-----mg kg <sup>-1</sup> -----	
Fonte Teste (FT 1)	70	1,6	5,9	19,1	3,2	60,4	56,1
FT 1	210	2,6	6,2	13,8	2,2	42,2	29,7
FT 1	350	3,3	7,2	11,0	1,5	41,6	20,1
FT 1	700	5,2	9,3	5,0	0,5	54,3	21,0
Fonte Teste 2 (FT 2)	70	1,8	5,4	17,6	3,3	51,4	44,3
FT 2	210	2,6	6,3	13,2	2,1	35,8	24,0
FT 2	350	3,4	7,6	8,7	1,1	32,3	15,8
FT 2	700	5,0	9,8	3,9	0,4	38,6	16,1
Fonte Teste 3 (FT 3)	350	3,5	7,5	7,9	1,1	29,8	17,1
ST + Calc. Calcítico (ST+CC)	350	3,9	2,8	18,0	6,4	50,1	41,6
ST + FT 1	350	3,6	6,1	12,3	2,0	32,2	23,2
ST + FT 2	350	3,6	6,1	11,9	1,9	30,65	23,8
ST + Calc. Dolomítico (ST+CD)	350	3,7	4,9	14,2	2,9	47,4	41,7
Termofosfato (TM)	350	2,2	5,3	14,8	2,8	40,7	19,9
Fosfato de Araxá (FA)	350	1,3	5,1	16,8	3,3	86,2	49,9
Testemunha	0	1,1	2,4	17,7	7,4	64,7	73,6
D.M.S. <sup>1</sup>		1,6	3,7	8,0	1,2	15,1	8,6
C.V.(%)		14,0	15,4	17,0	12,8	8,6	7,1

<sup>1</sup> Diferença mínima significativa pelo teste de Scheffé (P < 0,05).



TABELA 9. Teores foliares de P, Mg, Ca, Mn e Zn e relação foliar Ca/Mg no florescimento da soja, para o solo LVAr, em função dos tratamentos.

Fonte Fosfatada	Dose P mg dm <sup>-3</sup>	P	Mg	Ca	Relação Ca:Mg	Mn	Zn
		-----g kg <sup>-1</sup> -----				-----mg kg <sup>-1</sup> -----	
Fonte Teste (FT 1)	80	1,9	4,6	16,9	3,6	26,5	28,6
FT 1	240	2,0	5,1	15,2	2,9	21,9	19,6
FT 1	400	2,5	6,2	14,9	2,4	20,0	17,1
FT 1	800	2,4	7,6	7,6	1,0	21,61	12,3
Fonte Teste 2 (FT 2)	80	2,2	5,1	16,2	3,2	30,1	29,1
FT 2	240	2,5	5,8	16,9	2,9	31,5	20,9
FT 2	400	2,8	6,6	12,5	1,9	20,6	16,3
FT 2	800	3,4	9,4	8,0	0,9	22,6	9,1
Fonte Teste 3 (FT 3)	400	3,1	7,0	14,4	2,1	19,4	16,6
ST + Calc. calcítico (ST+CC)	400	2,9	1,9	19,2	9,9	24,1	21,7
ST + FT 1	400	2,9	6,1	17,5	2,9	18,8	17,9
ST + FT 2	400	2,9	6,5	19,3	2,9	18,2	14,7
ST + Calc. Dolomítico (ST+CD)	400	2,9	5,1	15,6	3,0	25,7	23,6
Termofosfato (TM)	400	2,2	5,7	21,1	3,7	31,5	19,8
Fosfato de Araxá (FA)	400	2,6	5,4	24,3	4,5	45,6	38,5
Testemunha	400	0,6	2,2	12,3	5,6	61,1	66,1
D.M.S. <sup>1</sup>		1,6	1,8	5,3	2,7	10,5	7,6
C. V.(%)		17,0	8,5	9,3	20,7	11,7	10,4

<sup>1</sup> Diferença mínima significativa pelo teste de Scheffé (P < 0,05).

ao longo do período de cultivo da soja ocasionada pela menor solubilidade relativa do TM.

Os teores foliares de Mg, nos três solos, apresentaram-se crescentes com o aumento das doses das FT's (Tabelas 7, 8 e 9), analogamente ao ocorrido para o P. As concentrações foliares de Mg nos tratamentos submetidos às FT's e aos adicionais, comparados na terceira dose, foram bastante semelhantes, sendo inferiores nos tratamentos com superfosfato triplo + calcário calcítico (ST+CC) e testemunha.

Para os três solos estudados, à exceção do tratamento ST+CC e da testemunha, todos os demais tratamentos apresentaram teores foliares de Mg dentro da faixa de suficiência (2,6 a 10,0 g kg<sup>-1</sup>) para o desenvolvimento ótimo da soja (EMBRAPA, 1998; Comissão..., 1999). Isso confirma a eficiência das FT's 1, 2 e 3 no fornecimento desse nutriente às plantas.

Inversamente ao Mg, as concentrações foliares de Ca decresceram com o aumento das doses das FT's, de forma mais intensa nas maiores doses (Tabelas 7, 8 e 9). Entretanto, mesmo nestes tratamentos, os teores foliares de Ca mantiveram-se, embora próximos ao limite inferior, ainda dentro da faixa de suficiência (3,6 a 20,0 g kg<sup>-1</sup>) deste nutriente (Embrapa, 1998; Comissão..., 1999).

Essa restrição na absorção do Ca pode ser explicada pela elevada quantidade de Mg na solução do solo, liberado pelas FT's, inibindo competitivamente a absorção de Ca (Malavolta et al., 1997), ou pela possível formação de precipitados com P (Novais & Smyth, 1999), favorecida pelo aumento no teor de P no solo com as doses das FT's e pela sua ação alcalinizante (Tabela 6).

A reduzida relação Ca:Mg observada nas maiores doses das FT's 1 e 2 e na FT 3, inclusive com valores abaixo de 1,0 (Tabelas 7, 8 e 9), não corresponde à exigência desses nutrientes, verificada na análise foliar da soja em condições

normais de cultivo nas principais regiões produtoras, onde sempre são verificados maiores teores de Ca em relação aos de Mg (Caires et al., 2000).

Esses resultados indicam que as FT's, isoladamente, não fornecem equilibradamente esses cátions à soja, estando o fornecimento de Ca nesses tratamentos praticamente restrito à aplicação de calcário calcítico.

A influência do efeito alcalinizante das FT's nos solos foi também revelada pelos decréscimos nos teores foliares de Zn e Mn (Tabelas 7, 8 e 9). O Zn diminui a atividade em solução 100 vezes a cada aumento de 1 unidade de pH, sendo que, para o Mn, este valor é de 1000 vezes (Borkert et al., 2001). Na cultura da soja, a redução na absorção de Zn e Mn tem sido associada à calagem realizada superficialmente em sistema de plantio direto, com excessivo aumento do pH do solo (Caires & Fonseca, 2000).

Em virtude dos íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  apresentarem propriedades químicas (mesma valência e raio iônico) bastante semelhantes àquelas do Zn e Mn, os primeiros podem inibir competitivamente a absorção e o transporte desses micronutrientes, sendo o efeito inibidor do Mg muito mais acentuado (Malavolta et al., 1997). Adicionalmente, a redução na absorção ou translocação de Zn pode ser consequência da inibição não-competitiva da absorção de Zn, dentre outros efeitos relacionados à interação entre P e Zn (Malavolta et al., 1997; Zhu et al., 2001).

No presente trabalho, apesar dos teores foliares de Zn e Mn, em alguns tratamentos, estarem abaixo das faixas de suficiência de 21 a 50 e 21 a 100 mg  $\text{kg}^{-1}$  para Zn e Mn, respectivamente (Embrapa, 1998; Comissão..., 1999), sintomas visuais de deficiência não foram observados.

### 4.3. Produção de matéria seca da parte aérea e de grãos

De acordo com a análise de variância, houve efeito significativo dos tratamentos na produção de matéria seca da parte aérea (MS) e de grãos (Tabela 4B). Os dados apresentados nas Tabelas 10 e 11 permitem comparar o efeito das FT's com os tratamentos adicionais utilizados no estudo. Para tanto, foram considerados, para cada solo, os resultados obtidos na terceira dose das FT's 1 e 2, a qual é coincidente com a quantidade de P aplicada nos tratamentos adicionais.

À exceção dos tratamentos ST+CC, FA e testemunha, que proporcionaram as menores produções de MS e de grãos, não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre os demais tratamentos nos solos NQ e LVAm. No solo LVAr, apenas os tratamentos FA e testemunha mostraram-se estatisticamente inferiores (Tabelas 10 e 11).

Isso demonstra que a eficiência das FT's, aplicadas isoladamente ou em mistura, foi equiparável ao efeito dos tratamentos com fertilizantes comerciais, superfosfato triplo associado a calcário dolomítico (ST+CD) e termofosfato (TM). Pode-se também inferir a respeito da boa eficiência das FT's em proporcionar crescimento vegetativo e produção da soja em solos com diferentes FCP.

Confirmando as observações de Lopes (1983) e Novais (1996), a produção de grãos obtida no solo mais arenoso (NQ) tendeu a ser maior que nos solos LVAm e LVAr, com caráter de dreno-P mais pronunciado (Tabela 11), a despeito das maiores quantidades de P fornecidas com o aumento do FCP dos solos.

Em termos de produção relativa (PR), considerou-se o tratamento com superfosfato triplo + calcário dolomítico (ST+CD) como referência (valores de produção de matéria seca e de grãos equivalentes a PR=100%). Para todos

TABELA 10. Produção de matéria seca da parte aérea (MS) e produção relativa (PR) da soja em resposta à aplicação de diferentes fontes fosfatadas, nas doses de 310, 350 e 400 mg dm<sup>-3</sup> de P para os solos NQ, LVAm e LVAr, respectivamente.

Tratamentos	NQ		LVAm		LVAr	
	MS (g/vaso)	PR <sup>1</sup> (%)	MS (g/vaso)	PR <sup>1</sup> (%)	MS (g/vaso)	PR <sup>1</sup> (%)
Fonte Teste 1 (FT 1)	60,7 a	113	52,2 a	116	58,2 a	102
Fonte Teste 2 (FT 2)	60,7 a	113	51,3 a	114	59,6 a	104
Fonte Teste 3 (FT 3)	61,1 a	114	48,8 a	109	55,8 a	98
ST + Calc. Calcítico (ST+CC)	32,1 b	60	37,0 b	82	51,1 a	89
ST + FT 1	63,2 a	118	53,0 a	118	62,3 a	109
ST + FT 2	61,4 a	114	53,1 a	118	58,6 a	103
ST + Calc. Dolomítico (ST+CD)	53,7 a	100	44,9 ab	100	57,1 a	100
Termofosfato (TM)	62,5 a	116	49,0 a	109	55,5 a	97
Fosfato de Araxá (FA)	16,2 c	30	19,0 c	42	17,0 b	30
Testemunha	8,6c	16	2,9 d	6	3,2 b	6

<sup>1</sup>PR = produção relativa considerando o tratamento ST + Calcário Dolomítico como referência, ao qual se atribuiu o índice 100 % para a produção de MS da parte aérea. Em cada coluna, médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scheffé (P<0,05).

TABELA 11. Produção de grãos e produção relativa (PR) da soja em resposta à aplicação de diferentes fontes fosfatadas, nas doses de 310, 350 e 400 mg dm<sup>-3</sup> de P para os solos NQ, LVAm e LVAr, respectivamente.

Tratamentos	NQ		LVAm		LVAr	
	Grãos (g/vaso)	PR <sup>1</sup> (%)	Grãos (g/vaso)	PR <sup>1</sup> (%)	Grãos (g/vaso)	PR <sup>1</sup> (%)
Fonte Teste 1 (FT 1)	28,1 a	120	23,0 a	116	24,8 a	100
Fonte Teste 2 (FT 2)	28,3 a	121	22,6 a	114	27,6 a	111
Fonte Teste 3 (FT 3)	28,2 a	121	23,0 a	116	25,5 a	102
ST + Calc. Calcítico (ST+CC)	6,9 b	29	16,0 b	81	21,6 a	87
ST + FT 1	27,1 a	116	22,2 a	112	27,3 a	110
ST + FT 2	26,7 a	114	21,8 ab	110	24,7 a	99
ST + Calc. Dolomítico (ST+CD)	23,4 a	100	19,8 ab	100	24,9 a	100
Termofosfato (TM)	29,5 a	126	21,5 ab	109	24,4 a	98
Fosfato de Araxá (FA)	6,4 b	27	6,1 c	31	7,7 b	31
Testemunha	2,9 b	12	0,82 c	4	0,9 c	4

<sup>(1)</sup>PR = produção relativa considerando o tratamento ST + Calcário Dolomítico como referência, ao qual se atribuiu o índice 100 % para a produção de grãos. Em cada coluna, médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scheffé (P<0,05)..

os solos, os tratamentos ST+CC, FA e testemunha apresentaram produção relativa inferior aos demais tratamentos (Tabelas 10 e 11). No tratamento ST+CC, a baixa concentração foliar de Mg (Tabelas 7, 8 e 9), inclusive com deficiência do nutriente, constatada visualmente no início do enchimento de grãos, certamente está associada à redução na produção da soja (Tabelas 10 e 11).

É interessante observar que, especialmente nos solos menos tamponados, NQ e LVAm, a produção relativa de matéria seca e de grãos tende a ser superior, até 26 % em relação ao tratamento referência (ST+CD), quando da presença de FT's ou TM, indicando que, de alguma forma, essas fontes proporcionaram maior estímulo ao desenvolvimento da soja.

Apesar do efeito alcalinizante das FT's e TM, com elevação expressiva da saturação por bases (V%), acima de 70% em alguns tratamentos (Tabelas 1A, 2A e 3A), as produções de matéria seca da parte aérea e de grãos foram, de modo geral, muito semelhantes entre a maioria dos tratamentos.

Segundo Piaia (2000), em experimento em casa de vegetação, melhores produções desse mesmo cultivar foram obtidas com saturação por bases de 50%. Na recomendação de calagem para a soja, pelo critério de saturação por bases, tem-se considerado adequado elevar V a valores em torno de 45 a 50% (Comissão...,1999).

Destaca-se, portanto, a maior importância do equilíbrio de bases em relação ao valor de V% no desenvolvimento da soja. No presente estudo, as fontes fosfatadas proporcionaram produções de MS e de grãos muito semelhantes, quando forneceram P, Ca e Mg dentro da faixa de suficiência para a cultura, independentemente do valor de V% dos solos ou da relação Ca:Mg no tecido foliar. Isso evidencia, também, a ampla capacidade de adaptação do cultivar Conquista a distintas condições de suprimento desses nutrientes.

#### **4.4. Efeito de doses das FT's na produção de grãos e níveis críticos foliares de fósforo**

Como houve efeito significativo apenas para doses das FT's (Tabela 4B), os modelos de produção de grãos da soja em função das doses de P, ajustados para cada solo, são comuns às FT's 1 e 2. Isso significa que as duas fontes proporcionaram o mesmo efeito na produção da soja.

Conforme se observa na Figura 4, a produção de grãos no solo LVA<sub>r</sub> aumentou com as doses de P aplicadas, diferentemente do observado para os demais solos, para os quais a produção estabilizou-se ou decresceu já a partir da terceira dose.

Nos três solos, os teores foliares de P aumentaram linearmente com o incremento das doses das FT's (Figura 3), mas não levaram a aumentos proporcionais na produção de grãos (Figura 4), caracterizando o chamado consumo de luxo para o P (Malavolta et al., 1997). Essa situação está de acordo com a Lei dos Rendimentos Decrescentes, a qual define que os ganhos obtidos em produção não são diretamente proporcionais aos incrementos das doses de um dado nutriente na adubação (Raij, 1991).

Na Tabela 12, são apresentadas a produção máxima (PM) e a produção máxima econômica (PME) correspondente a 90% da PM, estimadas a partir dos modelos ajustados da produção da soja em função das doses de P aplicadas a cada solo (Figura 4). Nota-se que, para todos os solos, a PME manteve-se acima da produção obtida no tratamento referência (ST+CD).

Para cada solo, determinaram-se as doses de P correspondentes à PM e PME (Tabela 13). De acordo com as doses para PME, conclui-se que, nas condições desse estudo, a dose econômica situou-se próxima (LVA<sub>r</sub>) ou abaixo (NQ e LVA<sub>m</sub>) da terceira dose de P aplicada aos solos, com valores significativamente menores que aqueles necessários à PM.



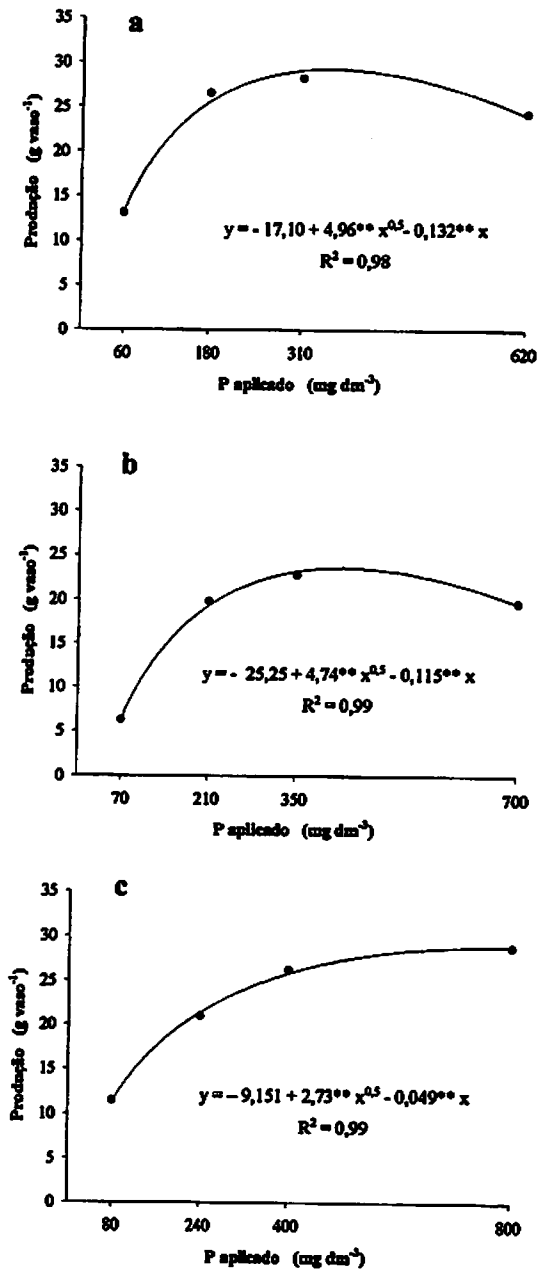


FIGURA 4. Produção de grãos de soja em função de doses das FT's 1 e 2 nos solos NQ (a), LVAm (b) e LVAr (c).

É interessante observar que a magnitude das diferenças entre as doses de P necessárias para a PM e PME é muito mais expressiva no solo LVAR, confirmando a influência do FCP dos solos em restringir o P-solução (Novais & Smyth, 1999), o que leva a planta a uma maior eficiência de utilização do P absorvido.

O ponto de equivalência das fontes em relação ao tratamento referência (ST+CD) foi obtido substituindo-se a variável dependente (Y) das equações de regressão de produção (Figura 4) pelo valor da produção obtida no tratamento ST+CD. Isto possibilitou estimar a dose equivalente (DE) das FT's que permitiria a mesma produção do tratamento referência (Tabela 13). As doses das FT's 1 e 2 correspondentes à DE, em todos os solos, foram relativamente menores em relação à dose fornecida no tratamento ST+CD, significando que as FT's foram eficientes em suprir P e Mg para a soja, e seu uso associado ao calcário calcítico teria efeito comparável ao do tratamento ST+CD.

Com base nas doses que proporcionaram as produções econômicas de grãos (90% da produção máxima), foram definidos os níveis críticos foliares de P (Tabela 13). As variações nas doses de P aplicadas para cada solo, referenciadas na metodologia do P remanescente (Alvarez V. & Fonseca, 1990), amenizaram o efeito do FCP dos solos, tendendo a de nivelar os valores de nível crítico (NC) de P nas folhas da soja quando cultivada nos solos NQ, LVAm e LVAR (Tabela 13). Tais valores são coerentes com a faixa adequada para o ótimo desenvolvimento da soja no campo: 2,6 a 5,0 g kg<sup>-1</sup> (Embrapa, 1998; Comissão..., 1999).

Estudando o mesmo cultivar em ambiente controlado, Piaia (2000) obteve níveis críticos foliares de P abaixo dos obtidos no presente estudo, variando de 2,41 a 2,31 g kg<sup>-1</sup>, num Latossolo Amarelo Distrófico com 20% de argila, utilizando doses de uma mistura de superfosfato triplo com fosfato natural de Gafsa.

Tais variações nos valores de nível crítico são esperadas (Faquin et al., 1995) e explicadas por diversos fatores, como época de cultivo, fontes aplicadas, dose de P e outros nutrientes e condições de cultivo.

TABELA 12. Estimativas das produções máxima (PM) e máxima econômica (PME) de grãos da soja em função de doses das FT's 1 e 2 e produção observada no tratamento referência (ST+CD), nos solos NQ, LVAm e LVAr.

Solo	Produção de grãos (g vaso <sup>-1</sup> )		
	FT 1 e 2		ST + CD <sup>1</sup>
	PM	PME	
NQ	29,2	26,3	23,4
LVAm	23,6	21,2	19,8
LVAr	28,9	26,0	24,8

<sup>1</sup> Tratamento superfosfato triplo + calcário dolomítico na terceira dose de P (referência).

Tabela 13. Doses de P correspondentes às produções máxima (PM) e máxima econômica (PME), dose das FT's equivalente à produção do tratamento ST+CD (DE) e nível crítico foliar de P para produção econômica de grãos (NC), nos solos NQ, LVAm e LVAr.

Solo	Dose de P			NC <sup>1</sup>
	PM	PME	DE	
	mg dm <sup>-3</sup>			
NQ	349	196	145	2,9
LVAm	423	257	220	2,7
LVAr	775	407	350	2,5

<sup>1</sup> Nível crítico de P na folha da soja no início do florescimento (65 DAP).

#### **4.5. Acúmulo de nutrientes nos grãos e eficiência de utilização de P**

Houve efeito dos tratamentos no acúmulo de P, Ca e Mg e na eficiência de utilização de P pela soja (Tabelas 5B, 6B e 7B).

Na Tabela 14 são apresentadas as quantidades de Ca e Mg acumuladas nos grãos da soja, em resposta à aplicação dos diferentes fertilizantes fosfatados. Nos três solos, os tratamentos FT1, FT2 e FT3 proporcionaram acúmulos de Ca e Mg semelhantes aos observados para os tratamentos ST+FT1, ST+FT2 e TM. Em consequência das elevadas concentrações de Mg nas FT's 1, 2 e 3 (Tabela 2), o acúmulo desse nutriente nos tratamentos que receberam tais fertilizantes tendeu a ser superior em relação aos demais tratamentos (Tabela 14).

Para o tratamento ST+CC, no solo NQ, o reduzido acúmulo de Ca nos grãos deve-se à pequena produção das plantas nesse tratamento, provocada, conforme discutido, pela acentuada deficiência de Mg. Os maiores acúmulos de Ca verificados em todos os tratamentos no solo LVAr, quando comparados aos demais solos, são reflexo das maiores doses dos fertilizantes fosfatados e de calcário aplicadas a esse solo.

Não obstante a maior quantidade de Ca normalmente absorvida pela soja em relação ao P (Potafos, 1999), nota-se, na Tabela 15, especialmente para os solos menos tamponados (NQ e LVAm), que, contrariamente, ocorreu maior acúmulo de P nos grãos em relação ao Ca (Tabela 14). Este fato pode ser explicado porque na cultura da soja a redistribuição de P constitui a fonte primária desse nutriente para os grãos em formação, o que não ocorre para o Ca, que, por ser bastante imóvel na planta, apresenta reduzida redistribuição das partes mais velhas para as mais novas em crescimento (Tanaka et al., 1993).

Cerca de 70% do total do P acumulado pela soja ao longo do ciclo são absorvidos entre os estágios de formação de vagens até o enchimento de grãos (Yamada, 2000).

TABELA 14. Conteúdos de Ca e Mg nos grãos de soja em resposta à diferentes fontes fosfatadas, nas doses de 310, 350 e 400 mg dm<sup>3</sup> de P para os solos NQ, LVAm e LVAr, respectivamente.

Tratamentos	NQ		LVAm		LVAr	
	Ca ----- (mg vaso <sup>-1</sup> )	Mg ----- (mg vaso <sup>-1</sup> )	Ca ----- (mg vaso <sup>-1</sup> )	Mg ----- (mg vaso <sup>-1</sup> )	Ca ----- (mg vaso <sup>-1</sup> )	Mg ----- (mg vaso <sup>-1</sup> )
Fonte Teste 1 (FT 1)	61,1 a	83,7 a	72,9 ab	56,8 a	109,6 b	56,9 a
Fonte Teste 2 (FT 2)	78,7 a	85,1 a	85,5 ab	63,1 a	110,6 b	54,7 a
Fonte Teste 3 (FT 3)	75,5 a	84,9 a	66,3 ab	65,1 a	112,3 b	57,8 a
ST + Calc. Calcítico (ST+CC)	30,7 b	11,9 c	64,7 ab	33,6 b	169,7 a	24,8 b
ST + FT 1	75,1 a	69,6 ab	67,7 ab	56,0 a	99,7 b	52,2 a
ST + FT 2	83,5 a	72,6 ab	70,4 ab	56,0 a	93,5 b	49,1 a
ST + Calc. Dolomítico (ST+CD)	71,5 a	58,3 b	71,2 ab	49,9 ab	163,9 a	45,7 a
Termofosfato (TM)	95,4 a	70,9 ab	90,4 a	53,5 a	94,4 b	49,4 a
Fosfato de Araxá (FA)	23,4 b	15,9 c	26,4 c	13,7 c	31,1 c	15,1 bc
Testemunha	7,8 b	6,1 c	2,7 c	2,2 c	4,1 c	2,3 c
C.V. (%)	13,1	11,1	12,5	11,9	13,0	10,3

Em cada coluna, médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scheffé (5%).

Do total absorvido, as sementes constituem dreno de aproximadamente 65% (Embrapa, 1994). Na soja, a grande redistribuição do P resulta em significativa diminuição do elemento nas folhas, pecíolos, hastes e vagens durante o período mais avançado de enchimento das sementes (Potafos, 1999).

Portanto, para um nutriente tão móvel como o P, o padrão de redistribuição parece ser determinado mais pelas propriedades da fonte e do dreno na planta do que pelo sistema de transporte (Bieleski, 1973).

Segundo Raboy & Dickinson (1993), variações do teor de fitina (principal composto de armazenamento de P na semente) na soja são atribuídas a mudanças na disponibilidade de P no solo.

Nesse sentido, quando se analisa a quantidade de P acumulada nos grãos de soja, é possível inferir a respeito das características de solubilidade dos fertilizantes fosfatados e das interações com as propriedades dos solos que influenciam a disponibilidade de P às plantas, como, por exemplo, o FCP.

À exceção do tratamento ST+CC, no solo NQ, e dos tratamentos FA e testemunha, por motivos já discutidos, todas as demais fontes fosfatadas proporcionaram conteúdos de P que não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 15). Isso confirma que as FT's 1, 2 e 3 e misturas ST+FT1 e ST+FT2 apresentam eficiência de fornecimento de P comparável à dos fertilizantes comerciais como superfosfato triplo e termofosfato magnésiano.

Em leguminosas de grãos, a maior eficiência de utilização de P seria obtida com a redução no requerimento do nutriente para a formação de grãos, aumentando a sustentabilidade da produção ao diminuir a retirada do nutriente do sistema (Araújo, 2000). Sabe-se que tal eficiência é influenciada por fatores como a disponibilidade do nutriente no solo; dose, solubilidade e a constituição química do fertilizante; FCP do solo; e interação entre os nutrientes na planta (Blair, 1993).

TABELA 15. Conteúdo e eficiência de utilização de P (EUP) pela soja em resposta a diferentes fontes fosfatadas, nas doses de 310, 350 e 400 mg dm<sup>3</sup> de P para os solos NQ, LVAm e LVAr, respectivamente.

Tratamentos	NQ		LVAm		LVAr	
	Conteúdo de P (mg vaso <sup>-1</sup> )	EUP (g <sup>2</sup> mg <sup>-1</sup> )	Conteúdo de P (mg vaso <sup>-1</sup> )	EUP (g <sup>2</sup> mg <sup>-1</sup> )	Conteúdo de P (mg vaso <sup>-1</sup> )	EUP (g <sup>2</sup> mg <sup>-1</sup> )
Fonte Teste 1 (FT 1)	139,3 a	5,7 ab	95,2 a	5,6 a	90,7 a	6,8 a
Fonte Teste 2 (FT 2)	149,6 a	5,4 ab	98,2 a	5,6 a	98,0 a	7,3 a
Fonte Teste 3 (FT 3)	154,2 a	5,0 bc	110,6 a	4,8 ab	104,8 a	6,2 a
ST + Calc. Calcítico (ST+CC)	46,3 b	1,0 d	92,6 a	2,8 bc	83,2 a	5,6 a
ST + FT 1	163,8 a	4,5 bc	114,3 a	4,3 abc	101,0 a	7,7 a
ST + FT 2	155,5 a	4,6 bc	120,4 a	4,0 abc	103,0 a	6,0 a
ST + Calc. Dolomítico (ST+CD)	151,1 a	3,6 c	107,9 a	3,6 bc	90,1 a	6,9 a
Termofosfato (TM)	127,4 a	6,8 a	84,9 a	5,5 a	85,3 a	7,0 a
Fosfato de Araxá (FA)	20,5 b	2,0 d	18,2 b	2,0 d	22,9 b	2,6 b
Testemunha	7,7 b	1,1 d	2,6 b	0,3 d	2,8 b	0,3 b
C.V. (%)	9,9	9,4	14,8	17,0	9,8	12,8

Em cada coluna, médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scheffé (5%).

Esses fatores, por influenciarem os fenômenos de translocação e redistribuição dos nutrientes, estão intimamente associados à eficiência de utilização de P, pois sua mobilização de tecidos maduros e senescentes para drenos de crescimento ativo pode ser determinante da eficiência do uso desse nutriente (Araújo, 2000).

Apesar da dose mais elevada de P aplicada ao solo LVAr (Tabela 3), houve tendência das plantas, quando desenvolvidas nesse solo mais tamponado, acumularem menor quantidade de P nos grãos (Tabela 15), principalmente em comparação ao solo NQ, com menor FCP. Em termos de eficiência de utilização de P (EUP), o comportamento foi inverso em relação ao acúmulo do nutriente, de forma que no solo LVAr verificou-se ligeiro incremento na EUP, possivelmente devido à maior competição entre solo e planta pelo fósforo fornecido, forçando a planta a otimizar o uso do nutriente.

É oportuno destacar que o uso da metodologia do P remanescente para a definição das doses de P nos diferentes solos usados nesse estudo, amenizou o efeito do FCP dos solos e tendeu a nivelar os valores de EUP entre os três solos (Tabela 15). No entanto, o efeito do aumento do FCP na seqüência LVAr>LVAm>NQ persistiu no tocante à absorção do nutriente pela soja, restringindo o acúmulo nos grãos, indicando que características intrínsecas à espécie vegetal também tiveram participação no nivelamento da EUP nos três solos.

No solo NQ, que tipicamente apresenta menor interação com as fontes de P, a EUP no tratamento TM destacou-se dos demais, sendo estatisticamente maior (Tabela 15). Este resultado pode ser explicado pela menor solubilidade deste fertilizante (Figura 2 e Tabela 1A), com taxa de liberação de P que acompanha o desenvolvimento da cultura e leva a uma maior eficiência de utilização do nutriente.



Deve-se ressaltar que os efeitos de características das fontes fosfatadas na absorção e eficiência de utilização de P parecem ser sobrepostos pela influência do FCP dos solos no suprimento do nutriente, uma vez que as diferenças entre os tratamentos observadas no solo arenoso (NQ) desaparecem no solo mais tamponado (LVAr) (Tabela 15).

#### 4.6. Considerações Finais

A influência das FT's no pH e nas proporções de Ca e Mg no sistema solo-planta mostra a viabilidade do uso de misturas adequadas entre as FT's e outras fontes fosfatadas, como o superfosfato triplo, visando ao fornecimento mais equilibrado de nutrientes às plantas.

As misturas de FT's com superfosfato triplo teriam uma potencial vantagem para o manejo da adubação fosfatada na cultura da soja nas regiões produtoras. A utilização conjunta dessas fontes proporcionaria ação importante para o crescimento radicular, principalmente pelo fornecimento de Ca e P (Rosolem & Marcello, 1998) e manutenção de condições de pH mais favoráveis ao longo do tempo. A aplicação das FT's ou misturas destas, ao promover aumento no pH do solo, desenvolveria condições adequadas para a multiplicação do rizóbio no solo e na superfície radicular. Adicionalmente, a redução na atividade de Al e o aumento de Ca e Mo em solução favoreceriam o início da infecção e formação de nódulos, aumentando a fixação biológica de N<sub>2</sub> (Siqueira & Moreira, 1997; Caires et al., 1998).

Uma outra possibilidade seria a utilização das FT's em solos levemente ácidos, cultivados sob plantio direto, nos quais o caráter alcalino desses fertilizantes teria influência na sustentabilidade do sistema de manejo, face à impossibilidade de mobilização do solo para a incorporação de corretivos ao longo do tempo de adoção do sistema (Caires et al., 2000).

Não obstante os efeitos positivos das FT's e misturas no desenvolvimento da soja, observados no presente estudo, a magnitude e o significado prático desses resultados necessitam de confirmação em condições de campo, onde deverão ser analisados não apenas os aspectos técnicos, mas também a viabilidade econômica desses produtos ou de suas misturas com outros fertilizantes.

## **5. CONCLUSÕES**

**Nas condições experimentais desse estudo, conclui-se que:**

- 1. O aumento nas doses das FT's 1 e 2 elevou os teores de P e Mg disponíveis, bem como o pH dos solos, e reduziu os teores foliares de Ca, Mn e Zn.**
- 2. O fornecimento de fósforo pela aplicação das FT's 1, 2 e 3 provocou aumentos na produção de matéria seca da parte aérea e de grãos da soja.**
- 3. O uso das FT's 1 e 2, isoladamente ou em mistura com o superfosfato triplo, proporcionou crescimento vegetativo e produção da soja equiparáveis aos tratamentos com os fertilizantes comerciais superfosfato triplo e termofosfato.**
- 4. O aumento no fator capacidade de P do solo restringiu a absorção e contribuiu para maior eficiência de utilização do nutriente pela soja, nivelando os efeitos dos tratamentos.**

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABELSON, P. H. A potential phosphate crisis. *Science*, Washington, v. 283, n. 5410, Mar. 1999.

ALVAREZ V. , V. H.; FONSECA, D. M. Definição das doses de fósforo para determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfatos e para ensaios em casa de vegetação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 14, n. 1, p. 49-55, jan./abr. 1990.

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-MG, v. 25, n. 1, jan./mar. 2000.

ARAÚJO, A. P. Eficiência vegetal de absorção e utilização de fósforo, com especial referência ao feijoeiro. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; SCHAEFER G. R. , C. E. (Eds). *Tópicos em ciência do solo*, Viçosa: UFV, 2000. v. 1, p.163-212.

BALLIO, L. A. Processo de solubilização da rocha fosfática através da implementação do uso da uréia. In: ENCONTRO NACIONAL DA ROCHA FOSFÁTICA. , 2. , 1981, Brasília. *Anais. . .* Rio de Janeiro: IBRAFOS, 1981. 306p.

BIELESKI, R. L. Phosphate pools, phosphate transport, and phosphate availability. *Annual Reviews of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, Palo Alto, v. 24, p. 225-252, 1973.

BLAIR, G. Nutrient efficiency - what do we really mean? In: RANDALL, P. J.; DELHAIZE, E.; RICHARDS, R. A.; MUNNS, R. (Eds). *Genetic aspects of plant mineral nutrition*. Dordrecht: Kluwer Academic, 1993. p.205-213.

BORÉM, A. Os riscos do escape gênico da soja no Brasil. Viçosa, 1999. Disponível em: <[http://www.biotechnologia.com.br/bio/10\\_fitm](http://www.biotechnologia.com.br/bio/10_fitm)> Acesso em: 20 jan. 2002.

BORKERT, C. M.; PAVAN, M. A.; BATAGLIA, O. C. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: ferro e manganês. In: FERREIRA, M. E. . . . [et al.,]. *Micronutrientes e elementos Tóxicos na agricultura*. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p.600.

BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. *Revista Ceres, Viçosa*, v. 21, n. 113, p. 73-85, jan./fev. 1974.

CAIRES, E. F.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa*, v. 22, p. 27-34, jan./mar. 1998.

CAIRES, E. F.; BANZATO, D. A.; FONSECA, A. F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa*, v. 24, n. 1, p. 161-169, jun./mar. 2000.

CAMPELLO, M. R.; NOVAIS, R. F.; FERNÁNDEZ R., I. E.; FONTES, M. P. F.; BARROS, N. F. Avaliação da reversibilidade de fósforo não lábil para lábil em solos com diferentes características. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas*, v. 18, n. 2, p. 157-165, maio/ago. 1994.

CARVALHO, A. M.; FAGERIA, N. K.; OLIVEIRA, I. P.; KINJO, T. Resposta do feijoeiro à aplicação de fósforo em solos dos cerrados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas*, v. 19, n. 1, p. 61-67, jan./abr. 1995.

CLARK, R. B.; DUNCAN, R. R. Improvement of plant mineral nutrition through breeding. *Field Crops Research, Amsterdam*, v. 27, n. 3, p. 219-240, Oct. 1991.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. *Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação. Viçosa*, 1999. 359p.

COUTO, C.; NOVAIS, R. F.; TEIXEIRA, J. L.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Níveis críticos de zinco no solo e na planta para crescimento de milho em amostras de solos com diferentes valores do fator capacidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas*, v. 16, n. 1, p. 79-87, jan./abr. 1992.

DEFILIPPE, G. Panorama da rocha fosfática e ácido fosfórico. In: ENCONTRO NACIONAL DE ROCHA FOSFÁTICA, 5., 1990, São Paulo. *Anais. . . São Paulo: IBRAFOS, 1990. p.5-9.*

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa da Soja. *Recomendações técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil- 93/94. Londrina, 1994. 120p.*

**EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análise do solo. Rio de Janeiro, 1997. p.212.**

**EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa da Soja. Recomendações técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil. Londrina, 1998. 182p.**

**ENGELSTED, O. P.; TERMAN, L. Agronomic effectiveness of phosphate fertilizers. In: KHASAWNEH, F. E. (Ed.). The role of phosphorus in Agriculture. Madison: American Society of Agronomy, 1980. p.311-332.**

**FABRES, A. S.; NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F.; CORDEIRO, A. T. Níveis críticos de diferentes frações de fósforo em plantas de alface cultivadas em diferentes solos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 11, n. 1, p. 51-57, jan./abr. 1987.**

**FAO. Improvement of efficiency and enviromental impact of nitrogen fertilizers in irrigated rice cropping in South East Asia. Rome, 1999. Final Technical Report, Field Document, 11.**

**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 noroeste do Paraná. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 19, n. 1, p. 87-94, jan. 1995.**

**FERNÁNDEZ ROJAS, I. E. J. Reversibilidade de fósforo não-lábil em diferentes solos, em condições naturais e quando submetidos à redução microbiológica ou química. 1995. 94p. Tese (Doctor Scientiae) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.**

**FREIRE, J. C.; RIBEIRO, M. A. V.; BAHIA, V. G.; LOPES, A. S.; AQUINO, L. E. Resposta do milho cultivado em casa de vegetação a níveis de água em solos da região de Lavras-MG. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 4, n. 1, p. 5-8, jan./abr. 1980.**

**GOEDERT, W. J.; SOUZA, D. M. G. Uso eficiente de fertilizantes fosfatados. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Brasília, 1984. Anais... Brasília: EMBRAPA, 1984. p.255-289.**

**JARREL, W. M.; BEVERLY, R. B. The dilution effect in plant nutrition studies. Advances in Agronomy, New York, v. 34, p. 197-224, 1981.**

**JOHNSTON, A. E. Soil and Plant Phosphate. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2000. p.46.**

**KER, J. C. Mineralogia, sorção e dessorção de fosfato, magnetização e elementos traços de Latossolos do Brasil. 1995. 181p. Tese (Doctor Scientiae) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.**

**LAL, R. Sustainable land use systems and soil resilience. In: GREENLAND, D. J.; SZABOLCS, I. (Eds). Soil resilience and sustainable land use. Wallingford: CAB International, 1994. p.41-67.**

**LIMA, J. M.; ANDERSON, S. J.; NILTON CURI. Phosphate-Induced clay dispersion as related to aggregate size and composition in Hapludoxs. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 64, n. 3, p. 892-897, May/June 2000.**

**LOPES, A. S. A calagem em solos sob cerrado. In: VAN RAIJ, B.; BATAGLIA, O. C.; SILVA, N. M. da (Eds). Acidez e calagem no Brasil. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. p.361.**

**MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319p.**

**MUCHHAL, U. S.; PADRO, J. M.; RAGHOTHAMA, K. G. Phosphate transporters from higher plant *Arabidopsis thaliana*. Proceedings of the National Academy Sciences of United States of America, Raghothama, v. 93, n. 19, p. 10519-10523, Sept. 1996.**

**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. 237-243, set./dez. 1985.**

**NOVAIS, R. F. A pesquisa em Fertilidade do Solo (no País) - como a vejo (e a sinto). In: ALVAREZ V. ,V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. (Eds). O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado, Viçosa, MG: UFV, 1996. 930p.**

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F.; CASALI, V. W. D.; FABRES, A. S. The influence of the soil phosphate capacity factor on soil and plant phosphorus critical levels of different vegetables. In: FRAGOSO, M. A. C.; BEUSICHEM, M. L. V. (Eds.) *Optimization of plant nutrition*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1993. p.73-76.

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

PIAIA, F. L. *Eficiência da adubação fosfatada com diferentes fontes e saturações por bases na cultura da soja*. 2000. 43p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

POTAFOS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA PESQUISA DA POTASSA E DO FOSFATO. *Como a planta de soja se desenvolve*. Piracicaba, 1997. 21p. Arquivo do Agrônomo, 11.

RABOY, V.; DICKINSON, D. B. Phytic acid levels in seeds of *Glycine max* and *G. soja* as influenced by phosphorus status *Crop Science*, Madson, v. 33, n. 6, p. 1300-1305, Nov./Dec. 1993.

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

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M. E.; LOPES, A. S.; BATAGLIA, O. C. *Análise química do solo para fins de fertilidade*. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170p.

RAIJ B. van; QUAGGIO, J. A.; SILVA, N. M. Extraction of phosphorus, potassium, calcium and magnesium from soils by an ion-exchange resin procedure. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v. 17, n. 6/7, p. 547-566, 1986.

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

RYAN, P. R.; DELHAIZE, E. Function and mechanism of organic anion exudation from plant roots. *Annual Reviews in Plant Physiology and Molecular Biology*, Palo Alto, v. 52, p. 527-560, 2001.



**SAMPLE, E. C.; SOPER, R. J.; RACZ, G. J. Reactions of phosphate fertilizers in soils. In: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E. C.; KAMPRATH, E. J. (Eds). The role of phosphorus in agriculture. Madison: American Society of Agronomy, 1980. p.263-310.**

**SANCHEZ, P. A.; SALINAS, J. G. Low input technology for managing Oxisols and Ultisols in tropical America. Advances in Agronomy, New York, v. 34, p. 280-406, 1981.**

**SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Microbial populations and activities in highly-weathered acid soils: highlights of the Brazilian research. In: MONIZ, A. C. et al., (Ed.). Plant-Soil Interactions at Low pH. Brazilian Soil Science Society, 1997. p.139-156.**

**SZABOLCS, I. The concept of soil resilience. In: GREENLAND, D. J.; SZABOLCS, I. (Eds.) Soil resilience and sustainable land use. Wallingford: CAB International, 1994. p.33-39.**

**TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; BORKERT, C. M. Nutrição mineral da soja. In: ARANTES, N. E.; SOUZA, P. I. M. (Eds) Cultura da soja nos cerrados. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1993. p.105-135.**

**TSUNECHIRO, A.; FERREIRA, C. R. P. T. Aspectos econômicos da abubação do milho no Brasil. Informações Econômicas, Piracicaba, v. 26, n. 11, p. 21-28, nov. 1996.**

**VANCE, C. P. Symbiotic nitrogen fixation and phosphorus acquisition. Plant nutrition in a world of declining renewable resources. Plant Physiology, Rockville, v. 127, n. 2, p. 390-397, Oct. 2001.**

**VETTORI, L. Métodos de análise de solo. Boletim Técnico Ministério da Agricultura, Rio de Janeiro, n. 7, p. 24, jul. 1969.**

**VITTI, G. C.; LUZ, P. H. C. Manejo químico do solo para alta produtividade da soja. In: CÂMARA, G. M. S. (Ed.). Soja: tecnologia da produção. Piracicaba: ESALQ, 1998. p. 84-112.**

**YAMADA, T. Nutrição e adubação para soja de alta produtividade no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE ROTAÇÃO SOJA/MILHO NO PLANTIO DIRETO, 2000, Piracicaba. Anais. . . Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2000. 1 CD-ROM.**

YANG, Z. M.; SIVAGURU, M.; HORST, W. J.; MATSUMOTO, H. Aluminium tolerance is achieved by exudation of citric acid from roots of soya bean (*Glycine max*). *Physiologia Plantarum*, Copenhagen, v. 110, n. 1, p. 72-77, Sept. 2000.

ZAROSKI, R. J.; BURAU, R. G. A rapid nitric-perchloric acid digestion method for mut-element tissue analisis. *Communication in Soil Science and Plant Analisis*, New York, v. 8, n. 5, p. 425-436, 1977.

ZHU, Y-G.; SMITH, S. E.; SMITH, F. A. Zinc (Zn)-phosphorus (P) interactions in two cultivars of spring wheat (*Triticum aestivum* L. ) differing in P uptake efficiency. *Annals of Botany*, London, v. 88, n. 5, p. 941-945, Nov. 2001.

TABELA 2A. Atributos químicos do solo LVAm aos 65 dias após a aplicação dos tratamentos.

Tratamento	P Mehlich	P-resina	K	S	Zn	Mn	Ca	Mg	Al	V	P-rem
	mg dm <sup>-3</sup>						cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			%	mg L <sup>-1</sup>
Fonte Teste 1 (FT1) Dose 1	8	17	76	52	2,0	5,0	1,7	1,2	0,0	67	31
FT1 Dose 2	33	47	25	22	1,8	4,0	1,3	0,8	0,0	73	40
FT1 Dose 3	78	75	25	20	2,3	4,0	1,3	1,8	0,0	62	38
FT1 Dose 4	148	171	20	62	2,3	4,0	1,0	3,1	0,0	72	40
Fonte Teste 2 (FT 2) Dose 1	8	12	70	67	1,9	4,0	1,1	0,2	0,1	84	38
FT2 Dose 2	29	69	22	20	2,1	4,0	1,0	1,4	0,0	55	42
FT2 Dose 3	54	110	16	27	2,0	4,0	1,4	1,8	0,0	67	42
FT2 Dose 4	114	308	16	35	3,0	5,0	0,8	3,0	0,0	76	42
Fonte Teste 3 (FT3)	68	90	19	52	2,5	4,0	1,0	2,5	0,0	82	42
ST + Calc. Calcítico (ST+CC)	64	110	23	28	1,7	3,0	1,3	0,2	0,1	76	42
ST + FT1	64	87	27	20	2,9	5,0	1,6	0,8	0,1	48	38
ST + FT2	64	110	19	36	2,7	5,0	1,5	1,2	0,1	59	40
ST + Calc. Dolomítico (ST+CD)	54	84	44	57	2,2	4,0	1,2	0,6	0,1	64	42
Termofosfato (TM)	73	99	25	23	7,1	13,0	2,5	2,0	0,0	50	40
Fosfato de Araxá (FA)	104	39	78	52	2,5	12,0	1,4	0,8	0,0	82	35
Testemunha	2	3	183	80	2,0	5,0	1,8	0,2	0,0	67	33

TABELA 3A. Atributos químicos do solo LVAr aos 65 dias após a aplicação dos tratamentos.

Tratamento	P Mehlich	P-resina	K	S	Zn	Mn	Ca	Mg	A	V	P-rem	mg dm <sup>-3</sup>		cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		%	mg L <sup>-1</sup>
Fonte Teste 1 (FT1) Dose 1	2	9	105	64	1,9	4,0	3,1	1,7	0,0	73	14						
FT1 Dose 2	16	49	38	45	2,2	4,0	2,2	2,0	0,0	72	17						
FT1 Dose 3	42	103	36	17	2,2	4,0	2,6	1,7	0,0	75	18						
FT1 Dose 4	78	175	27	23	2,3	4,0	1,8	3,3	0,0	80	19						
Fonte Teste 2 (FT2) Dose 1	4	21	127	64	2,7	6,0	3,5	0,7	0,0	73	14						
FT2 Dose 2	18	69	38	46	2,4	5,0	3,1	1,3	0,0	75	15						
FT2 Dose 3	38	96	23	17	2,3	4,0	1,9	2,9	0,0	80	19						
FT2 Dose 4	99	325	25	21	2,7	4,0	1,6	3,8	0,0	83	21						
Fonte Teste 3 (FT3)	27	126	66	20	2,7	5,0	2,2	2,9	0,0	74	16						
ST + Calc. Calcítico (ST+CC)	37	87	27	15	1,8	3,0	2,3	0,4	0,1	57	22						
ST + FT1	51	117	28	20	2,6	4,0	2,5	1,1	0,0	63	21						
ST + FT2	47	110	27	22	1,4	3,0	2,3	1,1	0,0	62	22						
ST + Calc. Dolomítico (ST+CD)	33	110	20	17	2,2	3,0	1,7	1,0	0,1	49	22						
Termofosfato (TM)	50	124	33	32	6,6	12,0	4,1	1,3	0,0	82	18						
Fosfato de Araxá (FA)	73	39	152	69	3,2	14,0	3,2	0,8	0,0	72	13						
Testemunha	1	1	174	78	2,3	4,0	3,2	0,8	0,0	70	13						

**ANEXO B****Página**

<b>TABELA 1B</b>	<b>Resumo das análises de variância para teores foliares de P, Ca e Mg no solo NQ.....</b>	<b>59</b>
<b>TABELA 2A</b>	<b>Resumo das análises de variância para teores foliares de P, Ca e Mg no solo LVAm.....</b>	<b>60</b>
<b>TABELA 3A</b>	<b>Resumo das análises de variância para teores foliares de P, Ca e Mg no solo LVar.....</b>	<b>61</b>
<b>TABELA 4B</b>	<b>Resumo das análises de variância para produção de matéria seca (MS) e de grãos nos solos NQ, LVAm e LVar.....</b>	<b>62</b>
<b>TABELA 5B</b>	<b>Resumo das análises de variância para conteúdos de P, Ca e Mg nos grãos e eficiência de utilização de P (EUP) no solo NQ.....</b>	<b>63</b>
<b>TABELA 6B</b>	<b>Resumo das análises de variância para conteúdos de P, Ca e Mg nos grãos e eficiência de utilização de P (EUP) no solo LVAm.....</b>	<b>64</b>
<b>TABELA 7B</b>	<b>Resumo das análises de variância para conteúdos de P, Ca e Mg nos grãos e eficiência de utilização de P (EUP) no solo LVar.....</b>	<b>65</b>

TABELA 1B. Resumo das análises de variância para teores foliares de P, Ca e Mg no solo NQ.

Fontes de Variação		GL	QM		
Fontes		1	0,0072 ns	1,353 ns	1,186 **
Doses		3	10,1758 **	190,808 **	22,211 **
Fontes * Doses		3	0,0781 ns	1,621 ns	0,576 *
Adicionais		7	12,4268 **	44,446 **	16,105 **
Fatorial vs Adicionais		1	5,1133 *	313,733 **	58,293 **
Tratamentos	(15)	8,1913 **	80,233 **	16,038 **	
Resíduo	48	0,1562	0,9103	0,158	
Total	63				
Coeficiente de variação (%)		10,95	8,40	7,09	

ns = não significativo  
 \* \*\* = significativo ao nível de 5% e 1%, respectivamente, pelo teste de F.

TABELA 2B. Resumo das análises de variância para teores foliares de P, Ca e Mg no solo LVAM.

Fontes de Variação	G.L.	QM		
		P foliar	Ca foliar	Mg foliar
Fontes	1	0,105 ns	15,194 ns	1,233 ns
Doses	3	14,947 **	273,925 **	38,057 **
Fontes * Doses	3	0,421 ns	0,995 ns	1,374 ns
Adicionais	7	5,367 **	47,284 **	7,376 **
Fatorial vs Adicionais	1	5,194 **	114,089 **	76,278 **
Tratamentos	(15)	5,931 **	85,668 **	16,496 **
Resíduo	48	0,175	4,667	0,967
Total	63			
Coeficiente de variação (%)		14,01	16,78	15,40

ns = não significativo

\*\* = significativo ao nível de 1% pelo teste de F.

TABELA 3B. Resumo das análises de variância para teores foliares de P, Ca e Mg no solo LVar.

Fontes de Variação		GL	QM		
Fontes	1	0,511 ns	0,4141 ns	5,628 **	Mg foliar
Doses	3	1,139 **	129,811 **	20,278 **	
Fontes * Doses	3	0,159 ns	5,989 *	0,839 *	
Adicionais	7	4,265 **	174,553 **	21,993 **	
Fatorial vs Adicionais	1	1,600 **	165,573 **	36,557 **	
Tratamentos	(15)	2,391 **	119,684 **	17,299 **	
Resíduo	48	0,179	1,976	0,221	
Total	63				
Coeficiente de variação (%)		17,21	9,29	8,49	

ns = não significativo  
 \* e \*\* = significativo ao nível de 5% e 1%, respectivamente, pelo teste de F.



TABELA 4B. Resumo das análises de variância para produção de matéria seca da parte aérea (MS) e de grãos nos solos NQ, LVAm e LVAr

Fontes de Variação	G.L.	Solos					
		NQ		LVAm		LVAr	
		MS	Grãos	MS	Grãos	MS	Grãos
		QM					
Fontes	1	10,035 ns	6,993 ns	0,021 ns	3,345 ns	14,974 ns	7,605 ns
Doses	3	1.401,084 **	1.116,701 **	1.972,185 **	434,622 **	1.912,982 **	469,438 **
Fontes * Doses	3	16,053 ns	8,853 ns	12,283 ns	4,208 ns	7,310 ns	6,285 ns
Adicionais	7	2.031,801 **	3.610,672 **	1.332,804 **	282,064 **	1.955,485 **	381,082 **
Fatorial vs Adicionais	1	575,271 **	278,013 **	38,629 *	7,509 ns	409,867 **	79,677 **
Tratamentos	(15)	1.270,622 **	5.021,235 **	1.021,446 **	220,119 **	1.324,941 **	278,802 **
Resíduo	48	14,503	159,703	9,296	2,618	16,850	3,040
Total	63						
Coefficiente de variação (%)		7,96	8,71	7,77	9,65	8,62	8,40

ns = não significativo

\* e \*\* = significativo ao nível de 5% e 1%, respectivamente, pelo teste de F.

TABELA 5B. Resumo das análises de variância para conteúdos de P, Ca e Mg nos grãos e eficiência de utilização de P (EUP) no solo NQ.

Fontes de Variação	G.L.	QM		
		Conteúdo de P	Conteúdo de Ca	Conteúdo de Mg
Fontes	1	100,649 ns	5842,481 **	6,545 ns
Doses	3	22512,548 **	1276,661 **	4623,478 **
Fontes * Doses	3	70,308 ns	338,277 *	12,689 ns
Adicionais	7	17763,935 **	4174,140 **	4095,267 **
Fatorial vs Adicionais	1	129,926 ns	325,085 ns	4954,664 **
Tratamentos	(15)	12821,779 **	2682,091 **	3169,105 **
Resíduo	48	107,390	94,061	41,415
Total	63			
Coeficiente de variação (%)		9,89	17,44	11,17
				9,42

ns = não significativo  
 \* \*\* = significativo ao nível de 5% e 1%, respectivamente, pelo teste de F.

TABELA 6B. Resumo das análises de variância para conteúdos de P, Ca e Mg nos grãos e eficiência de utilização de P (EUP) no solo LVAm.

Fontes de Variação	G.L.	QM			
		Conteúdo de P	Conteúdo de Ca	Conteúdo de Mg	EUP
Fontes	1	2,705 ns	907,273 **	97,329 *	0,484 ns
Doses	3	15928,344 **	4390,719 **	4099,411 **	33,052 **
Fontes * Doses	3	49,454 ns	155,102 *	79,376 *	0,2312 **
Adicionais	7	8295,150 **	3190,969 **	2046,889 **	11,178 **
Fatorial vs Adicionais	1	867,766 **	0,0443 ns	485,695 **	12,587 **
Tratamentos	(15)	7124,661 **	2458,771 **	1829,840 **	12,745 **
Resíduo	48	44,356	50,492	27,481	0,267
Total	63				
C.V. Tratamentos (%)		8,55	12,48	11,91	13,44

ns = não significativo

\* e \*\* = significativo ao nível de 5% e 1%, respectivamente, pelo teste de F.

TABELA 7B. Resumo das análises de variância para conteúdos de P, Ca e Mg nos grãos e eficiência de utilização de P (EUP) no solo LVAr.

Fontes de Variação		GL	QM		
			Conteúdo de P	Conteúdo de Ca	Conteúdo de Mg
Fontes		1	150,004 ns	1179,388 ns	33,521 ns
Doses		3	16492,435 **	4113,116 **	4012,968 **
Fontes * Doses		3	157,628 ns	615,163 ns	15,462 ns
Adicionais		7	5994,5477 **	11259,471 **	1640,381 **
Fatorial vs Adicionais		1	2813,0166 **	1192,476 ns	2334,001 **
Tratamentos	(15)	48	6325,003 **	6358,201 **	1729,032 **
Resíduo		63	60,542	373,479	19,647
Total		63			
C.V. Tratamentos (%)			9,78	21,59	10,29
					12,84

ns = não significativo  
 \* \*\* = significativo no nível de 5% e 1%, respectivamente, pelo teste de F.