

1 INTRODUÇÃO

A cultura da soja é de elevado interesse econômico e social para diversos povos, especialmente dos chineses, principalmente pelo grande valor nutricional decorrente dos teores de proteína e óleo, apresentados pelos seus grãos.

A sociedade brasileira, ainda não se conscientizou, de fato, da importância alimentar da soja, como uma das maiores alternativas para amenizar problemas relacionados com a desnutrição de grande contingente de nossa população, apesar do Brasil ser o segundo maior produtor mundial de grãos desta espécie.

Altos índices de produtividade da soja estão sendo atingidos a partir da adoção de sistemas de produção que levam em conta, a escolha correta da cultivar, a época de semeadura, a população de plantas por unidade de área, o controle de pragas e doenças, as exigências térmicas, fotoperiódicas e nutricionais, além da redução das restrições da fertilidade de solo, especialmente daqueles originalmente sob cerrado, ambiente onde se encontra uma das maiores áreas plantadas com a soja no país.

Dentre os fatores edáficos que limitam a fertilidade dos solos da região dos cerrados e, conseqüentemente, a produtividade da soja, pode se destacar a elevada saturação de alumínio, baixa capacidade de troca catiônica e de retenção de água e baixa disponibilidade de fósforo associada à alta capacidade de adsorção deste nutriente, fato que em geral ocorre em solos que apresentam o predomínio de minerais de argila 1:1 e óxidos de ferro e de alumínio na fração argila.

O Estado de Mato Grosso do Sul, o quinto maior produtor de soja do Brasil, apresenta uma área cultivada, com essa espécie de aproximadamente 1,1 milhão de hectares (CONAB, 2000). Nesse estado a soja é, em grande parte, cultivada em solos de cerrado e vem apresentando, nos últimos anos, uma produtividade crescente, principalmente, devido ao maior emprego de tecnologias como, o uso de cultivares resistentes a doenças e com maior potencial produtivo e adubação adequada (EMBRAPA, 2000).

Os processos pedogênicos, atuantes nos solos de cerrados, condicionam características físico-químicas a estes, que levam a alta demanda de adubação fosfatada, na qual, entre as principais fontes de fertilizantes empregadas estão os superfosfatos. Na última década, o emprego dos fosfatos naturais reativos tem aumentado, principalmente

em função da elevação de preços das fontes de fosfatos mais solúveis, bem como pelos resultados de ensaios com alguns anos de duração, onde tem sido avaliada a eficiência de diversas fontes de fosfatos em cultivos consecutivos de soja (Braga *et al.*, 1991). No entanto, as informações ainda são escassas para as regiões produtoras de soja em Mato Grosso do Sul.

Diante desta realidade e considerando os diferentes testes que já vêm sendo feitos, com estes fosfatos, por produtores de soja, na maioria das vezes associados à assistência técnica, é que se decidiu realizar o presente trabalho, objetivando avaliar, em casa de vegetação, o efeito de dois fosfatos naturais reativos em comparação com o superfosfato triplo, na ausência e presença de calagem, sobre alguns componentes da produção de soja, valores de fósforo recuperado por extratores químicos e a relação entre esses atributos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos gerais sobre o fósforo e sua importância como nutriente para as plantas

O fósforo é essencial para a transferência de energia nos processos metabólicos que ocorrem no interior das células, envolvendo a molécula de adenosina trifosfato (ATP), cuja ação está direcionada ao mecanismo de síntese de constituintes celulares. Além disso, o fósforo assume importância na formação e translocação de carboidratos e produtos essenciais intermediários, entra na composição dos nucleotídeos que estão envolvidos na síntese dos ácidos nucléicos, está presente nos fosfolipídios das membranas celulares e, nas sementes, as reservas de fósforo estão em forma de fitatos (sais de Ca, Mg e K do ácido fítico = éster hexafosfórico ou inositol) que, no caso das leguminosas, representam aproximadamente 50% do P total das sementes e possuem importante função no processo de germinação (Marschner, 1995).

A quantidade de fósforo requerida para o ótimo crescimento das plantas pode variar de 1 a 5 g kg⁻¹ na massa seca, dependendo da espécie e do órgão analisado (Malavolta *et al.*, 1997). Sua carência, de maneira geral, acarreta menor crescimento das plantas. Por ser um elemento móvel na planta, o que facilita a sua distribuição na mesma, os sintomas de deficiência são identificados nas folhas mais velhas, as quais podem apresentar cores que podem variar do amarelo com pouco brilho, ou verde azulada e, em algumas espécies, até arroxeadas (Faquin, 1994; Malavolta *et al.*, 1997).

Apesar de várias funções, o fósforo é um dos macronutrientes menos exigidos pelos vegetais, mas devido à sua fixação pelo solo, as quantidades utilizadas na adubação, segundo estatísticas mundiais, são comparadas às de nitrogênio e potássio. No Brasil observa-se que o uso de fósforo é superior ao de nitrogênio e potássio, principalmente em solos de cerrado, os quais, em maioria, são deficientes desse nutriente (Malavolta, 1979).

2.2 Formas de ocorrência de fósforo e sua dinâmica no solo

A absorção de fósforo pelas raízes das plantas ocorre, principalmente, na forma de íons HPO_4^{-2} e H_2PO_4^- , espécies iônicas originárias do ácido ortofosfórico (H_3PO_4). A presença de cada uma dessas formas iônicas na solução do solo depende do pH do solo.

Em pH 7,22 existem quantidades equivalentes de HPO_4^{-2} e H_2PO_4^- , abaixo deste pH, (condição observada na maioria dos solos agricultáveis) ocorre a predominância do íon H_2PO_4^- e, acima de pH 7,22, verifica-se a predominância da forma iônica HPO_4^{-2} (Tisdale *et al.*, 1984). A forma H_2PO_4^- por ser monovalente, é absorvida mais rapidamente pelas plantas, e por encontrar-se presente em valores menores de pH, sofre menos competição com a hidroxilila (OH^-) (Novais *et al.*, 1993).

A dinâmica do fósforo no solo está principalmente relacionada a reações com íons de cálcio, de ferro e de alumínio. Esses cátions podem estar presentes na solução do solo e reagir com o fósforo para formar compostos pouco solúveis. A reação do fósforo com esses metais, também pode ocorrer na superfície das partículas sólidas de argila, óxidos de Fe e de Al ou carbonato de cálcio (sendo que, com este último, geralmente acontece, de modo mais intenso, em solos calcários), o que caracteriza o fenômeno da adsorção. Assim sendo, nos solos ácidos os óxidos de Fe e de Al e minerais de argila são os principais agentes promotores da adsorção do fósforo (Thomas & Peaslee, 1973).

Segundo Parfitt (1978), a adsorção dos fosfatos ao solo se estabelece através de ligações covalentes de alta energia, não possuindo relação com a troca iônica e, por isso, é denominada de troca de ligantes.

Os solos tropicais são altamente intemperizados, apresentam, freqüentemente, baixo pH, além de possuir grandes quantidades de óxidos de Fe e de Al. Os íons fosfatos liberados pela dissolução de fertilizantes fosfatados adicionados aos solos com tais características são instáveis, podendo sofrer reações que levam à precipitação ou adsorção dos mesmos. O conteúdo de matéria orgânica no solo e o tipo de fertilizante usado, também influenciam a capacidade de fixação do fósforo pelos solos (Fassbender, 1984).

A quantidade de fósforo na solução do solo é baixa, muitas vezes menor de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$, devido à sua alta fixação e à baixa solubilidade dos compostos existentes. Dessa forma deve ocorrer reposição constante de fósforo para a solução do solo, através da dissolução do fósforo lábil, que se encontra em equilíbrio dinâmico com o fósforo na solução do solo. O fósforo lábil está representado por formas meta-estáveis de compostos de fósforo ainda mal formados que, com o passar do tempo, irão adquirir uma composição mineralógica mais estável, passando à forma não lábil. A maior parte do fósforo inorgânico do solo está presente na forma não lábil, que pode retornar, muito

lentamente, para a forma lábil. Com a baixa solubilidade as perdas por lixiviação são mínimas, existindo uma tendência dos teores de fósforo serem maiores nas camadas superficiais, devido à adição de fertilizantes e pela contribuição do fósforo orgânico (Raji, 1991).

A deficiência de fósforo é um dos fatores mais limitantes ao desenvolvimento das plantas cultivadas em solos de cerrado, devido a grande capacidade de fixação, em decorrência da alta acidez e dos elevados teores de óxido de ferro e de alumínio encontrados nestes solos (Sanzonowicz *et al.*, 1987; Hoffman *et al.*, 1995).

A passagem do fósforo lábil, que está em equilíbrio dinâmico com o fósforo na solução do solo, para fósforo não lábil é o maior problema referente ao aproveitamento do mesmo. Com o tempo o fósforo lábil não estará mais em equilíbrio com o fósforo da solução do solo. Esse processo ocorre em maior proporção, principalmente, nos solos mais intemperizados, que possuem maior poder de adsorção, como os solos de regiões tropicais (Muns & Fox, 1976, citados por Novais *et al.* 1993). A de fixação de fósforo pelo solo, associado à baixa disponibilidade natural desse nutriente, principalmente em solos mais intemperizados, acarreta no uso de fertilizantes fosfatados em praticamente todos os sistemas de produção agropecuária.

2.3 Fertilizantes fosfatados

Dentre os vários fertilizantes fosfatados encontrados no mercado, existem os solúveis em água, como os superfosfatos e os fosfatos amoniacais (MAP e DAP), os pouco solúveis em água, mas solúveis em citrato neutro de amônio, como os termofosfatos (Yoorin) e os insolúveis em água e pouco solúveis em citrato neutro de amônio, como os fosfatos naturais. De maneira geral os fosfatos solúveis em água são mais eficientes quando aplicados em forma granulada e localizada próxima das raízes, a fim de facilitar sua absorção, devido à alta concentração de fósforo, além de reduzir os efeitos da fixação, justificativa para o largo uso de fontes solúveis de fósforo na adubação de manutenção no sulco de plantio (Raij, 1991).

Os superfosfatos são obtidos através de reações de ácidos (sulfúrico e fosfórico) com rochas fosfáticas moídas. O ácido ataca o fosfato natural, convertendo a maior parte do seu fósforo para a forma de fosfato monocálcico (Malavolta, 1979).

O termofosfato é um adubo obtido por fusão conjunta de um fosfato natural com uma rocha magnesianas, cuja fabricação requer grande quantidade de energia e, pelo seu elevado teor em magnésio, é um fertilizante recomendado para solos onde esse nutriente tem disponibilidade limitada (Novais & Smyth, 1999).

O fosfato monoamônico (MAP) é um produto obtido por síntese, de fórmula $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, contém 9% de N e 48% de P_2O_5 , solúvel em água + CNA (citrato neutro de amônio). O fosfato diamônico (DAP), também sintético, possui a fórmula $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ e tem um teor de 16% de N e 45% de P_2O_5 , solúvel em água + CNA (Novais & Smyth, 1999).

Os fosfatos naturais do Brasil, oriundos de várias localidades são os fosfatos Patos de Minas e de Araxá, de Minas Gerais, o Catalão, de Catalão em Goiás e o fosfato de Olinda, de Olinda em Pernambuco. Todavia, estas fontes são de baixa reatividade, especialmente em solos com a acidez corrigida, como revelam diversos trabalhos (Goedert e Lobato, 1980; Cantarutti *et al.*, 1981; Novelino *et al.*, 1985; Braga *et al.*, 1991), em decorrência dos íons cálcio aplicados ao solo atuarem como íon comum a aquele do fosfato de cálcio dos fosfatos naturais, eles deprimem a solubilização dessas fontes, como já havia sido argumentado por Goedert *et al.* (1987), para os fosfatos naturais ricos em apatita.

Dentre os fosfatos naturais importados os mais conhecidos são o fosfato natural de Gafsa (proveniente do Marrocos), o de Arad (Israel) e da Carolina do Norte (Estados Unidos da América).

Em experimento de campo em Latossolo Roxo distrófico de textura argilosa, Cordeiro *et al.* (1979), avaliaram a eficiência agrônômica dos fosfatos de Gafsa e Patos de Minas, utilizando o superfosfato triplo, como fonte padrão de fósforo e as cultivares de soja Santa Rosa e Paraná, como plantas teste. Foram observados efeito residual linear para o fosfato Patos de Minas e efeito quadrático para o superfosfato triplo e fosfato de Gafsa. O fosfato de Gafsa apresentou eficiência média de 95%, considerando o efeito residual, enquanto que o fosfato Patos de Minas apresentou uma eficiência média residual de 62%, quando comparados à fonte padrão.

Magalhães (1984), trabalhando com dois tipos de solo, Latossolo Vermelho-Escuro álico (LEa) e Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVd) comparou, em casa de vegetação, a eficiência agrônômica do fosfato Patos de Minas em relação ao superfosfato

triplo, o efeito da calagem na disponibilidade de fósforo e o efeito residual das duas fontes, usando o trigo como planta teste. O suprimento de fósforo foi insuficiente, em ambos os solos, quando utilizado o fosfato de Patos de Minas, tendo o LVd apresentado maior ação na solubilização do fosfato de Patos de Minas.

A reatividade de rochas fosfatadas depende da superfície específica do material e está diretamente relacionada com o grau de substituições isomórficas do fosfato (PO_4^{-3}) pelo carbonato (CO_3^{-2}) e F^- e de Ca^{+2} por Mg^{+2} e Na^{+2} , que resultam em modificações no cristal da apatita, reduzindo, proporcionalmente, o comprimento do eixo cristalográfico em relação a fluorapatita padrão ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$) (Khasawneh & Doll, 1978). Essa substituição ocorre na formação da rocha, de modo que a substituição de um fosfato trivalente por carbonato divalente, provoca um desequilíbrio na arquitetura do cristal. Essa reação aumenta a reatividade do mineral, pois quanto maior o grau de substituição isomórfica, mais fácil se torna a quebra do cristal, ocorrendo mais facilmente a solubilização da molécula, a liberação do fósforo para a solução do solo e, conseqüentemente, o aproveitamento pelas plantas (Lehr e McLellan, 1972).

As características químicas, acima mencionadas, estão diretamente relacionadas com a formação geológica das rochas fosfatadas que, segundo Lehr (1980), podem ser classificadas em:

- a) Sedimentares – originadas pela deposição acumulada de ossadas de animais marinhos, têm grande porosidade, área superficial elevada, alto grau de substituição isomórfica e grande reatividade;
- b) Ígneas – oriundas da solidificação do magma de erupções vulcânicas, sendo seus cristais duros, grandes, não porosos, têm baixa reatividade, pequena área superficial e uma estrutura cristalográfica mais arranjada;
- c) Metamórficas – intermediárias, podendo se originar tanto de rochas sedimentares quanto de rochas ígneas, por ação do metamorfismo.

Os fosfatos naturais importados como o Gafsa e o Carolina do Norte são facilmente solubilizados, por apresentarem alto grau de substituição isomórfica do fosfato pelo carbonato. Já os fosfatos apatíticos brasileiros possuem pequeno grau de substituição isomórfica, sendo assim, menos solúveis (Ferreira & Kaminski, 1979, citado por

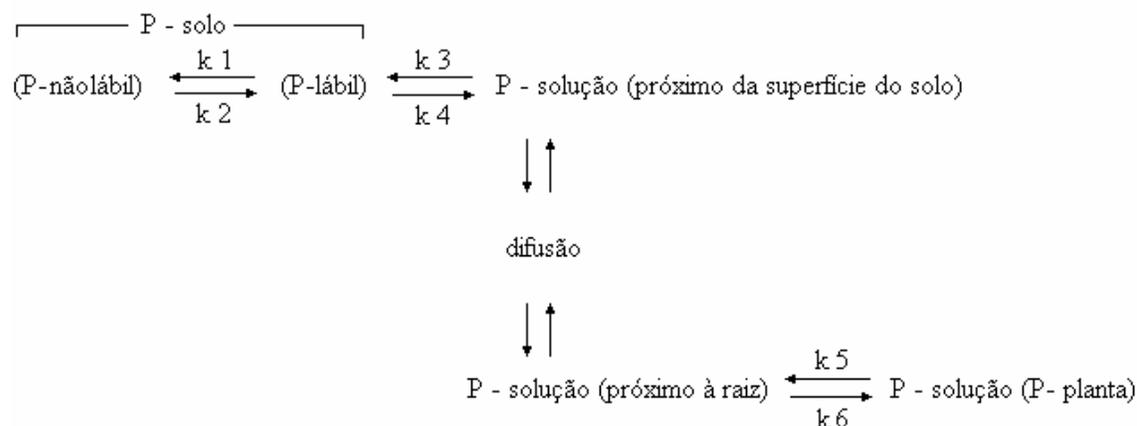
Caramori, 2000).

Os fosfatos naturais reativos (de Gafsa, de Arad, e da Carolina do Norte, entre outros) são assim chamados devido sua maior solubilização. Os custos desses fosfatos são mais baixos quando comparados às fontes mais solúveis (superfosfato triplo e simples) e, devido a este aspecto, o uso destes pode ser interessante na adubação de culturas anuais.

2.4 Fósforo disponível no solo para as plantas e aspectos gerais de sua avaliação

A quantidade de fósforo no solo está representada basicamente por três formas: fósforo na solução do solo, fósforo lábil e fósforo não lábil. O fósforo da solução do solo ou “fator intensidade”, representa o fósforo que pode ser prontamente aproveitado pelas plantas. O fósforo lábil, em equilíbrio dinâmico com o fósforo da solução do solo, representa o “fator quantidade” que define a reserva de fósforo do solo para as plantas, enquanto o fósforo não lábil representa aquela forma que, em curto prazo, não pode passar rapidamente à solução do solo (Larsen, 1967), muito provavelmente por estar envolvido em reações de precipitação com diferentes cátions ou adsorvido com alta energia à fase sólida do solo.

A dinâmica do fósforo no solo e seu movimento, por difusão, até a zona das raízes são representados pelo diagrama de Gunary & Sutton, 1967, citados por Silva (1997).



Pelo que se pode observar no diagrama, a quantidade de fósforo a ser absorvido pela planta depende do fator quantidade (P-lábil) e do fator intensidade (P-solução). Todavia, o processo que resulta na habilidade do solo em manter uma definida concentração de fósforo na solução, é chamado de “fator capacidade” ou simplesmente “poder tampão”, demonstrado no diagrama pela interação entre as constantes k_3 e k_4 . Finalmente, k_5 e k_6 representam respectivamente o efluxo e o influxo de fósforo na planta. O k_6 , provavelmente, apenas será limitante em altas concentrações de fósforo na planta e k_5 é desprezível para a planta em crescimento.

Para os vegetais que apresentam condições normais de crescimento vegetativo, k_5 e k_6 não são importantes, podendo-se inferir que o processo para o fornecimento de fósforo para as plantas reduz-se a quatro fatores: fator quantidade, fator capacidade, fator intensidade e difusão.

De maneira geral, as plantas possuem capacidade de absorver o fósforo a partir daquele que está na solução do solo. Em vista deste aspecto é necessário manter a concentração adequada de fósforo na solução e, caso o solo (fator quantidade em interação com fator capacidade) não repasse, adequadamente, o fósforo para a solução, torna-se necessário a utilização de fertilizantes fosfatados e, mesmo assim, constitui um grande desafio manter na forma lábil, uma quantidade expressiva do fósforo adicionado ao solo na forma de fertilizante. Isto porque, em se tratando de solos pobres em fósforo e com mineralogia oxídica, determinando altas taxas de adsorção, a passagem do fósforo solúvel em água, da forma lábil para a não lábil, é relativamente rápida, como constatado por diversos estudos (Gonçalves *et al.*, 1985; Gonçalves *et al.*, 1989; Novelino, 1999).

A avaliação do fósforo disponível de um solo tem sido feita por meio de uso de soluções extratoras diluídas (ácidas ou básicas) e, mais recentemente, pela resina de troca iônica. As extrações do fósforo “disponível” fornecem valores que variam entre o fator intensidade e o fator quantidade, as vezes até mesmo parte do fósforo não lábil, dependendo das propriedades do reagente e das condições de extração, sem informar sobre o fator capacidade. Na verdade, a quantidade extraída vem quase toda do fator quantidade (P-lábil), uma vez que o fósforo na solução (fator intensidade) é extremamente menor do que aquele que encontra na fase sólida do solo. Bahia Filho *et al.* (1983), sugerem a inclusão do fator capacidade para melhorar a previsão dos modelos empregados na avaliação do fósforo disponível, embora os valores de fósforo extraídos

por várias técnicas expliquem, de maneira geral, a variação do fósforo absorvido pelas plantas.

2.5 O fósforo na cultura da soja

A soja apresenta uma alta e contínua absorção de fósforo, sendo que a maior demanda se verifica no período de florescimento e granação e os sintomas de deficiência deste nutriente na mesma são variados, não sendo claramente distintos como aqueles descritos para potássio ou magnésio, por exemplo. As plantas de soja, com deficiência de fósforo são pouco desenvolvidas, com folhas pequenas e pontiagudas, havendo a possibilidade da ocorrência de limbo foliar arqueado para cima, podendo estas apresentar cor verde escura ou verde azulada, conferindo a impressão de que as plantas estão saudáveis. Também, como consequência da deficiência de fósforo, a floração e a maturação são retardadas (Bennett, 1996).

De acordo com a tabela de interpretação de resultados de análise de folhas de soja do terço superior, no início do florescimento, o teor de fósforo considerado suficiente para o ótimo crescimento das plantas é de $0,26 \text{ g kg}^{-1}$ a $0,50 \text{ g kg}^{-1}$ na massa seca. Para as condições brasileiras, recomenda-se na adubação química a aplicação de 20 kg ha^{-1} de P_2O_5 para cada tonelada de grão de soja produzidos por hectare, repondo, assim, a quantidade retirada do solo e exportada nos grãos pelas plantas (Embrapa, 2000).

O fósforo apresenta um efeito direto satisfazendo as necessidades do metabolismo das plantas de soja e, ainda, de acordo com Bennett (1996), a disponibilidade de fósforo eleva os teores de óleo nos grãos e melhora o tamanho e o peso dos grãos devido sua presença nos fitatos, além de ser responsável pela transferência de energia nos processos metabólicos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação, no Núcleo Experimental de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul em Dourados, no período de 01/11/2001 a 15/12/2001, no qual foi avaliado o comportamento de três fontes de fosfatos, na presença e ausência de calagem, usando como planta teste a soja.

Foram utilizados dois solos, originalmente sob vegetação de cerrado, classificados como Latossolo Vermelho distroférico de textura muito argilosa (LVdf) e Latossolo Vermelho distrófico de textura média, (LVd). A coleta do LVdf ocorreu no município de Rio Brillante MS, próximo à sede da Fazenda Santa Elisa, localizada na BR 163, Km 251, cujo as coordenadas são 21°49'34'' de latitude sul e 54°31'08'' e longitude oeste. O LVd foi coletado no município de Dourados MS, próximo ao Km 39 da rodovia Dourados – Itahum, nas coordenadas 22°08'01'' de latitude sul e 55°08'52'' e longitude oeste.

Em cada área foram coletados 250 kg de solo, a uma profundidade de 0 a 20 cm. As amostras de cada solo foram secas ao ar, passadas em peneira com malhas de 2 mm de abertura (Terra Fina Seca ao Ar – TFSA) e dentro de cada classe, homogeneizadas e submetidas às análises para a caracterização de alguns atributos químicos e físicos (Quadro 1).

As dosagens de corretivo da acidez (cal hidratada dolomítica, sem fósforo detectado pela análise química e com partículas < 0,297 mm), para cada classe de solo, visando a eliminação do alumínio tóxico e elevar o pH em água dos solos para próximo a 6,0, foram definidas a partir de curvas de incubação, durante 30 dias, com diferentes dosagens. Na elaboração das curvas de incubação as seis doses do corretivo utilizadas corresponderam, a 0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 e 2,5 vezes o valor de $(H^+ + Al^{3+})$ fornecidos pela análise de solo, conforme Bahia Filho (1982).

As doses aplicadas do corretivo, foram de 0,3487 g kg⁻¹ e 0,998 g kg⁻¹ para o LVdf e LVd respectivamente.

Quadro 1 – Atributos químicos e físicos dos solos estudados.

Atributos químicos e físicos	Solos	
	(LVdf)	(LVd)
pH em H ₂ O (1:2,5) ⁽¹⁾	5,7	5,1
pH em CaCl ₂ ⁽²⁾	4,7	4,0
Carbono orgânico (g kg ⁻¹) ⁽¹⁾	35,0	15,7
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³) ⁽¹⁾	0,17	1,09
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ⁽¹⁾	3,39	0,07
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ⁽¹⁾	2,30	nd ⁽⁵⁾
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³) ⁽¹⁾	0,10	0,03
H ⁺ + Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³) ⁽²⁾	5,66	4,81
Soma de bases (cmol _c dm ⁻³)	5,79	0,10
CTC a pH 7,0	11,45	4,91
Saturação em bases (%)	51	2
P (Mehlich 1) (mg dm ⁻³) ⁽¹⁾	1,0	1,0
P remanescente (mg L ⁻¹) ⁽³⁾	11,1	35,0
Densidade do solo (kg dm ⁻³) ⁽¹⁾	1,03	1,38
Densidade de partículas (kg dm ⁻³) ⁽¹⁾	2,67	2,82
Volume total de poros (%)	61,4	51,1
Areia grossa (g kg ⁻¹) ⁽¹⁾	100	320
Areia fina (g kg ⁻¹) ^{(1) e (4)}	30	400
Silte (g kg ⁻¹) ^{(1) e (4)}	90	10
Argila (g kg ⁻¹) ^{(1) e (4)}	780	270

(1)-EMBRAPA (1997)

(2)-Raij e Quaggio (1983)

(3)-Alvarez V. *et al.* (1993)

(4)-Análise Granulométrica pelo método do densímetro.

(5) nd = não detectado pelo método analítico utilizado.

Para a correção da acidez, sub-amostras pesando 1,751 kg e 2,346 kg para o LVdf e LVd respectivamente, o que corresponde à 1,7 dm⁻³ de cada solo por sub-amostras, foram acondicionadas em sacos de plástico, homogeneizadas com a referida dose do corretivo

da acidez e incubadas durante 30 dias com a umidade a 60% do volume total de poros (VTP). O valor de VTP foi estimado a partir dos resultados das determinações das densidades aparente (*da*) e de partículas (*dp*) dos materiais de solo (TFSA), conforme Embrapa (1997). A umidade perdida por evaporação, durante o período de incubação, foi repostada semanalmente com água destilada, cujo controle ocorreu com a pesagem dos sacos. Ao final do período de incubação cada sub-amostra foi individualmente seca ao ar e peneirada em peneira com malha de 2 mm de abertura. Após o processo de correção da acidez foi identificado, por amostragem, o pH de cada classe de solo (Quadro 2).

Quadro 2 – pH em água dos solos estudados, antes e após a calagem.

pH em H ₂ O (1:2,5) ⁽¹⁾	Solos	
	(LVdf)	(LVd)
Antes da calagem	5,70	5,10
Após a calagem	5,81	5,83

(1)-EMBRAPA (1997)

Volumes de 1,5 dm⁻³ de material com e sem calagem, para cada classe de solo, foram homogeneizados com uma dose de KCl (200 mg dm⁻³) e com as diversas doses de fósforo (0; 31; 62; 124; 186 e 310 mg dm⁻³ para o LVd e 0; 40; 80; 160; 240 e 400 mg dm⁻³ para o LVdf) das três fontes de fosfatos, aplicados em três repetições e transferidos para vasos de plástico com capacidade para 1,6 dm⁻³ de solo. As doses de fósforo aplicadas foram estimadas a partir dos valores de fósforo (P) remanescente (Quadro 1), segundo Alvarez V. *et al.* (1993)

Os três fosfatos utilizados foram o superfosfato triplo (granulado) e os fosfatos naturais reativos de Gafsa e de Arad (farelados), cujos teores de P₂O₅, previamente, determinados em laboratório, conforme método descrito por Catani (1973) foram, respectivamente, 41,4%; 27,0% e 30,8%,

Logo após a adição dos fertilizantes, foi realizada a semeadura de 5 sementes de soja (não inoculadas) da cultivar BRS-133, por vaso, na profundidade de 2,5 cm, seguida da adição de água destilada em quantidade equivalente a 60% do VTP de cada solo.

Após a germinação e estabelecimento das plantas foi realizado um desbaste deixando duas plantas por vaso. No quarto e nono dias após a semeadura foram aplicados, a cada vaso, 50 mL de uma solução nutritiva, elaborada segundo Novais *et al.* (1991) e cujas concentrações de N, S, K, B, Cu, Fe, Mn; Mo e Zn estão no Quadro 3.

Até a colheita da parte aérea das plantas os vasos foram irrigados com água destilada, mantendo o teor de umidade em 60% do VTP.

Quadro 3 – Fonte e dosagens de nutrientes utilizados na adubação básica dos solos.

Nome	Fonte	Dosagem	
		mg kg ⁻¹ do nutriente ⁽¹⁾	g L ⁻¹ da fonte ⁽²⁾
Nitrogênio	NH ₄ NO ₃ e (NH ₄) ₂ SO ₄ ⁽¹⁾	100	(3)
Enxofre	K ₂ SO ₄ e (NH ₄) ₂ SO ₄	40	(4)
Boro	H ₃ BO ₃	0,81	0,1390
Cobre	CuSO ₄ .5H ₂ O	1,33	0,1568
Ferro	FeSO ₄ .7H ₂ O	1,55	0,2314
Manganês	MnCl ₂ .4H ₂ O	3,66	0,3955
Molibdênio	NaMoO ₄ .2H ₂ O	0,15	0,0113
Zinco	ZnSO ₄ 7H ₂ O	4,00	0,5278

(1)-Dosagens aplicadas em mg do nutriente por kg de solo.

(2)-Dosagens dos nutrientes na solução nutritiva.

(3)-Fontes de N aplicadas ¼ como (NH₄SO₄) e ¾ como NH₄NO₃, com dose total parcelada em 4 vezes.

(4)-Este nutriente teve como fontes os sulfatos de amônio, potássio, ferro e zinco.

Foram avaliadas os seguintes atributos:

- Teor de fósforo em mg dm⁻³ disponível no solo pelos extratores Mehlich-1 (Embrapa, 1997) e Olsen (Olsen & Sommers, 1982), após o cultivo da soja;
- Altura de plantas em cm, imediatamente antes da colheita da parte aérea;
- Peso da massa seca, em gramas, da parte aérea das plantas;
- Teor de fósforo na massa seca da parte aérea, segundo Malavolta *et al.*, (1997);
- Quantidade de fósforo acumulado na massa seca da parte aérea;
- Eficiência de utilização de fósforo pelas plantas de soja, em g mg⁻¹.

As partes aéreas das plantas, em fase de florescimento (estádio R₁), foram colhidas 45 após a emergência, lavadas com água destilada, secas em estufa a 65° C, até peso constante e pesadas para a obtenção da massa seca. Após a pesagem a massa seca foi moída, em moinho tipo Willey e uma amostra de 0,300g de tecido, de cada parcela, foi submetida à digestão nítrico-perclórica, para a determinação do teor de fósforo, segundo Malavolta *et al.* (1997). Para a obtenção da quantidade de fósforo acumulado foram utilizados os valores do peso e teor de fósforo na massa seca da parte aérea (peso da massa seca x teor de fósforo). A eficiência de utilização de fósforo pelas plantas foi obtida relacionando a quantidade de massa seca produzida em função da quantidade de fósforo absorvido, isto é, gramas de massa seca produzida por miligramas de fósforo acumulado na parte aérea.

Após a retirada das plantas, os solos de cada vaso foram secos ao ar, peneirados e homogenizados, separando-se, uma quantidade de 300g de cada parcela, as quais foram utilizadas para a extração de fósforo pelos métodos Mehlich-1 e Olsen.

O delineamento de tratamento foi um fatorial 3 x 6 x 2, sendo três fontes de fosfatos, aplicadas em seis dosagens, na presença e ausência de calagem, no delineamento experimental em blocos casualizados com três repetições, para cada classe de solo, sendo a parcela constituída de um vaso com duas plantas.

A análise estatística dos dados foi realizada por solo, utilizando-se o aplicativo computacional SAEG (Euclides, 1997).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Latossolo Vermelho distroférico

4.1.1 Produção de massa seca da parte aérea

A produção de massa seca da parte aérea foi influenciada pela calagem, fontes e doses de fosfatos aplicados, enquanto que para as interações calagem x fontes, calagem x doses e fontes x doses, não foram constatadas diferenças significativas (Quadro 4). Diante desse fato os procedimentos adotados visaram a comparação entre cada fosfato utilizado independente da calagem (Quadro 5) e foi realizada a análise de regressão para verificar o efeito das doses (Figura 1).

Quadro 4. Resumo da análise de variância referente à produção de massa seca da parte aérea da soja, cultivada no Latossolo Vermelho distroférico.

Causas de Variação	G. L.	Quadrados médios
Bloco	2	13,290
Calagem	1	13,104**
Fontes de fosfatos	2	21,404**
Doses de fosfatos	5	77,368**
Calagem x fontes de fosfatos	2	3,320 ^{ns}
Calagem x doses	5	1,529 ^{ns}
Fontes de fosfatos x doses	10	1,861 ^{ns}
Resíduo	80	1,089
Média geral		6,70
Coeficiente de variação		15,6 %

** = significativo a 1% pelo teste F; ns = não significativo.

Para esse solo, a produção de massa seca da parte aérea das plantas, com o uso do superfosfato triplo, foi significativamente superior a aquelas verificadas com o uso dos fosfatos naturais, os quais, não diferiram entre si. Quanto ao efeito da calagem sobre a produção de massa seca da parte aérea (Quadro 5), pôde-se constatar que, na média dos valores obtidos com o uso dos fertilizantes fosfatados, a mesma influenciou negativamente.

Quadro 5. Valores médios de produção de massa seca da parte aérea da soja, para fontes de fertilizantes fosfatados, no Latossolo Vermelho distroférrico, na ausência e presença de calagem.

Calagem	Massa seca (g vaso ⁻¹)			Média de calagem
	Arad	Gafsa	S. Triplo	
Ausência	6,84	6,55	7,75	7,05 A
Presença	5,45	6,19	7,41	6,35 B
Média de Fosfatos	6,14 b	6,37 b	7,58 a	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem significativamente a 5% de probabilidade pelos testes de Duncan e t ($t^2 = F$), respectivamente.

A maior solubilidade do superfosfato triplo e a elevação do pH, influenciaram nos resultados. A elevação do pH pela calagem (Quadro 2) acarretou em uma menor solubilização dos fosfatos de Arad e Gafsa e conseqüentemente menor disponibilidade de fósforo para as plantas, já que, os fosfatos naturais reativos apresentam uma maior solubilidade em meio mais ácido (Novais & Smyth, 1999).

Conforme observado por vários autores, (Goerdert & Lobato, 1980; Tisdale *et al.*, 1984; Novais & Smyth, 1999), alguns atributos químicos, como pH, saturação de bases, alumínio livre no solo, entre outros, interferem no processo de fixação de fósforo pelo solo. Com o pH e saturação de bases mais elevados e na ausência de alumínio livre ocorre menor fixação de fósforo. Essas condições são observadas para o LVdf (Quadro 1) e contribuíram para reduzir a fixação de fósforo, favorecendo, principalmente, a fonte mais solúvel, já que quanto maior a solubilidade do fosfato, mais rapidamente pode ocorrer a adsorção do fósforo pelo solo (Sá, 1995).

Trabalhando com fosfatos naturais e superfosfato triplo, Silva (1997), observou efeitos semelhantes, na produção de massa seca da parte aérea, em um experimento realizado em casa de vegetação, cultivando plantas de feijão.

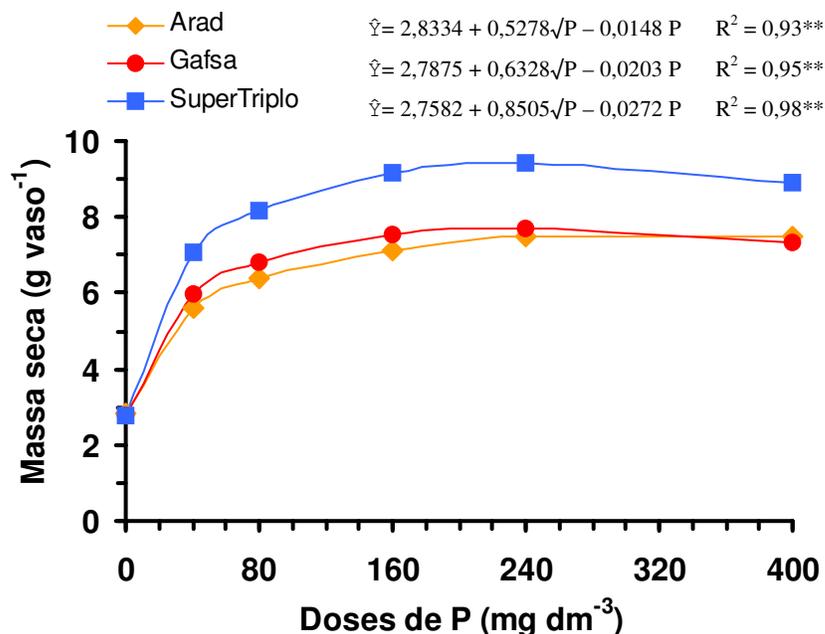


Figura 1. Produção de massa seca da parte aérea de plantas de soja, em função das doses de fósforo de diferentes fontes, no Latossolo Vermelho distroférico.

Com o estudo das equações de regressão (Figura 1) pôde-se observar a superioridade do uso superfosfato triplo em comparação com os fosfatos naturais e a equivalência dos fosfatos Gafsa e Arad na produção de massa seca da parte aérea.

Foi verificada, também, uma resposta mais intensa das plantas nas menores doses, fato que pode ser atribuído à baixa disponibilidade de fósforo apresentada pelo solo (Quadro 1).

As produções máximas de massas secas da parte aérea, em g vaso⁻¹, de 7,54 para o Arad, 7,72 para o Gafsa e 9,41 para o superfosfato Triplo, foram alcançadas com as dose de fósforo, em mg dm⁻³, de 317,91; 243,05 e 244,30, respectivamente. Observou-se, também, que as produções máximas de massa seca, obtidas pelos fosfatos de Arad e de Gafsa foram semelhantes, sendo apenas 2,39% maior em favor do Gafsa, no entanto, o superfosfato triplo, superou significativamente os demais, na produção máxima de massa seca, em 24,8% e 21,9%, respectivamente em relação ao Arad e ao Gafsa.

4.1.2 Altura de plantas

Na análise de variância para altura de plantas de soja (Quadro 6), observou-se diferença estatística significativa, apenas, para calagem e doses de fosfatos. No entanto, quando realizado o teste comparativo de médias (Quadro 7), não foi observado diferença estatística entre a média dos tratamentos na ausência de calagem e a média dos tratamentos na presença de calagem.

Quadro 6. Resumo da análise de variância referente à altura de plantas de soja, cultivadas no Latossolo Vermelho distroférrico.

Causas de Variação	G. L.	Quadrados médios
Bloco	2	5438,132
Calagem	1	1026,752*
Fontes de fosfatos	2	298,382 ^{ns}
Doses de fosfatos	5	4982,828**
Calagem x fontes de fosfatos	2	406,020 ^{ns}
Calagem x doses	5	317,700 ^{ns}
Fontes de fosfatos x doses	10	106,276 ^{ns}
Resíduo	80	196,718
Média geral		97,225
Coefficiente de variação		14,4%

** = significativo a 1% pelo teste F; * = significativo a 5% pelo teste F; ns = não significativo.

Quadro 7. Valores médios de altura de plantas de soja, para fontes de fertilizantes fosfatados, no Latossolo Vermelho distroférrico, na ausência e presença de calagem.

Calagem	Altura de plantas (cm)			Média de calagem
	Arad	Gafsa	S. Triplo	
Ausência	95,25	102,53	103,14	100,31 A
Presença	95,28	89,22	97,92	94,14 A
Média de Fosfatos	95,26	95,87	100,53	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna, não diferem significativamente a 5% de probabilidade pelo teste t ($t^2 = F$).

Observando a produção de massa seca (Quadro 5 e Figura 1) verificou-se diferença estatística entre as fontes. No entanto, ao comparar as médias de alturas das plantas (Quadro 7), foi verificada a equivalência entre os fosfatos utilizados. Com este fato, é

possível inferir que o acúmulo de massa seca não está relacionado com a altura das plantas.

Nas condições em que foi realizado o experimento, em casa de vegetação, onde foi notada a ocorrência de altas temperaturas, ocorreu um metabolismo acelerado das plantas o que acarretou no rápido crescimento. Essas condições podem ter influenciado os resultados, propiciando um efeito similar, para altura de plantas, no uso das fontes fosfatadas estudadas.

Uma única equação de regressão (Figura 2) tendo a altura de plantas como variável dependente de doses de fosfatos foi ajustada, na média de valores de fonte e calagem, em decorrência da falta de significância estatística para as fontes de fosfatos utilizadas e para as interações calagem x doses e fontes de fosfatos x doses (Quadro 6). Com o estudo da equação de regressão pôde-se observar resposta mais intensa das plantas no uso da menor dose de fósforo, tal fato demonstra a importância do fósforo no metabolismo dos vegetais, trazendo maior capacidade de assimilar CO_2 e sintetizar proteínas e carboidratos, influenciando no crescimento da planta (Faquin, 1994; Marschner, 1995).

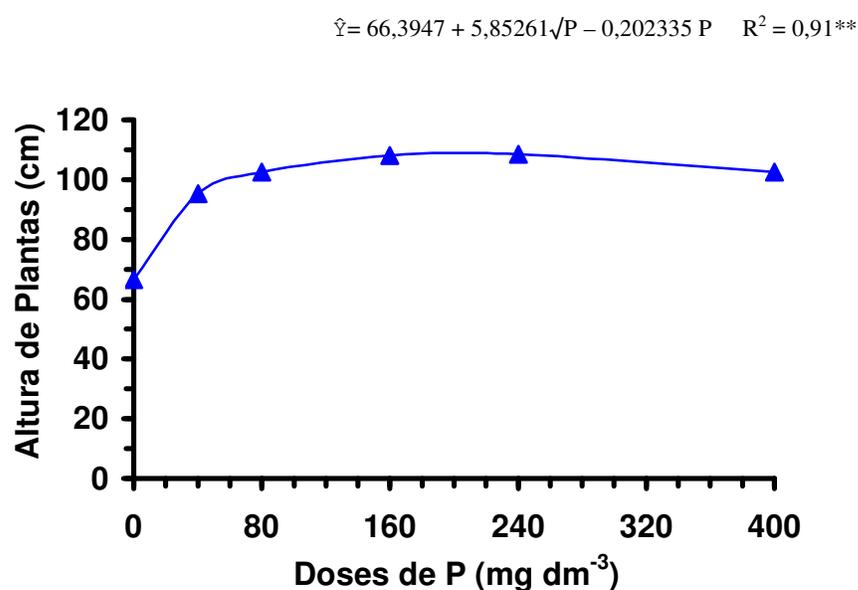


Figura 2. Altura de plantas de soja, em função das doses de fósforo de diferentes fontes, no Latossolo Vermelho distroférico.

No modelo raiz quadrada, utilizado para o ajuste da equação, ficou ilustrada a resposta positiva e intensa das plantas à adição de fósforo no solo na menor dose utilizada (40 mg dm^{-3}). Também, pelo modelo utilizado no ajuste das equações, verificou-se que, para as fontes estudadas, a máxima altura de plantas (108,71 cm) foi obtida com a dose de $209,17 \text{ mg dm}^{-3}$ de fósforo.

4.1.3 Teor de fósforo na massa seca da parte aérea

Na análise de variância para o teor de fósforo na parte aérea (Quadro 8), foi observado apenas efeito significativo para os fatores isolados e para a interação fontes de fosfatos x doses. Diante deste fato, procedeu-se a comparação de média pelo teste de Duncan (5%) e, na média dos dados de fontes e doses de fosfatos, constatou-se que os teores médios de fósforo, na ausência e presença de calagem (Quadro 9), foram significativamente diferentes.

Quanto às fontes utilizadas, observou-se que os fosfatos naturais reativos não diferiram entre si na capacidade de influenciar nos teores de fósforo na massa seca da parte aérea, porém, tais fontes foram significativamente inferiores ao superfosfato triplo.

Observando os resultados apresentados no Quadro 10, onde foi estudada a interação fontes de fosfatos x doses, é possível notar que uso do superfosfato triplo favoreceu a maior concentração de fósforo na parte aérea das plantas nas doses mais altas. Os fosfatos naturais utilizados, mais uma vez, proporcionaram rendimentos semelhantes entre si.

Quadro 8. Resumo da análise de variância referente ao teor de fósforo na massa seca da parte aérea da soja, cultivada no Latossolo Vermelho distroférico.

Causas de Variação	G. L.	Quadrados médios
Bloco	2	0,296
Calagem	1	1,751**
Fontes de fosfatos	2	0,658**
Doses de fosfatos	5	5,682**
Calagem x fontes de fosfatos	2	0,175 ^{ns}
Calagem x doses	5	0,045 ^{ns}
Fontes de fosfatos x doses	10	0,391**
Resíduo	80	0,070
Média geral		1,809
Coeficiente de variação		14,7%

** = significativo a 1% pelo teste F; ns = não significativo.

Quadro 9. Valores médios do teor de fósforo na massa seca da parte aérea, para fontes de fertilizantes fosfatados, no Latossolo Vermelho distroférico, na ausência e presença de calagem.

Calagem	Teor de fósforo na massa seca da parte aérea (g kg ⁻¹)			Média de calagem
	Arad	Gafsa	S. Triplo	
Ausência	1,83	1,95	2,02	1,93 A
Presença	1,59	1,56	1,90	1,68 B
Média de Fosfatos	1,71 b	1,76 b	1,96 a	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem significativamente a 5% de probabilidade pelos testes de Duncan e t ($t^2 = F$), respectivamente.

Quadro 10. Valores médios do teor de fósforo na massa seca da parte aérea, para doses e fontes de fertilizantes fosfatados, no Latossolo Vermelho distroférico.

Doses de fósforo (mg dm ⁻³)	Teor de fósforo na massa seca da parte aérea (g kg ⁻¹)		
	Arad	Gafsa	Super Triplo
0	0,92 a	0,92 a	0,92 a
40	1,38 b	1,70 a	1,41 ab
80	1,82 a	1,76 a	1,72 a
160	1,88 a	2,01 a	2,15 a
240	1,99 b	2,01 b	2,38 a
400	2,28 b	2,14 b	3,20 a

Médias seguidas de mesma na linha, não diferem significativamente à 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

Os atributos químico do LVdf (Quadro 1) justificam o melhor desempenho do superfosfato triplo, considerado de melhor solubilidade. Além disso, observando o pH do solo (Quadro 2) e considerando que os fosfatos naturais reativos apresentam uma maior solubilidade em meio mais ácido (Novais & Smyth, 1999), notou-se que este solo apresentou uma acidez relativamente baixa, mesmo anterior a calagem, o que provavelmente acarretou em menor solubilização dos fosfatos naturais utilizados, conseqüentemente menor absorção de fósforo pela planta e menor teor de fósforo na massa seca da parte aérea, como pôde ser verificado no estudo das equações de regressão (Figura 3).

Conhecendo o baixo teor de fósforo disponível inicialmente do solo LVdf (Quadro 1), o que faz com que a planta, para seu metabolismo, tenha uma grande dependência do fósforo fornecido pelas fontes utilizadas e sabendo que os vegetais, de uma maneira geral, absorvem apenas os nutrientes que estão na solução do solo

(Marschner, 1995), pode-se justificar o aumento mais expressivo da concentração de fósforo da parte aérea nas doses menores, mesmo quando se utiliza os fosfatos naturais. Contudo nas doses maiores a resposta da planta não foi tão expressiva para o uso dos fosfatos de Arad e de Gafsa, provavelmente devido a pouca acidez do solo o que acarretou em menor solubilização desses fosfatos.

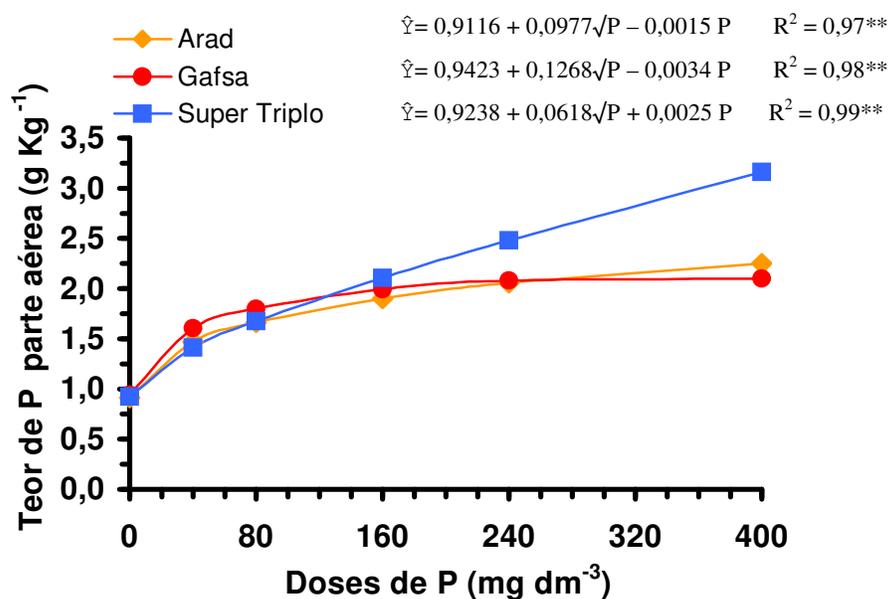


Figura 3. Teor de fósforo na massa seca da parte aérea, em função das doses de fósforo de diferentes fontes, no Latossolo Vermelho distroférico.

Na Figura 3 observou-se, também, melhor resposta das plantas, na elevação dos teores de fósforo da parte aérea, nas doses maiores de superfosfato triplo, fato influenciado, provavelmente, pela maior solubilidade desta fonte, o que disponibilizou maior quantidade de fosfato na solução do solo acarretando em maior absorção de fósforo pelas plantas.

Com base nas equações ajustadas verificou-se que os máximos teores de fósforo, na massa seca da parte aérea das plantas, foram atingidos com a dose utilizada de 400 mg dm⁻³ de fósforo para o superfosfato triplo e para o fosfato natural reativo de Arad, já para o fosfato natural reativo de Gafsa, o máximo teor de fósforo, na massa seca da parte aérea, foi atingido com a dose estimada de 347,71 mg dm⁻³ de fósforo.

4.1.4 Fósforo acumulado na massa seca da parte aérea

Para a quantidade de fósforo acumulado na massa seca da parte aérea, foi verificado, na análise de variância (Quadro 11), o efeito significativo da calagem, fonte e doses, bem como das interações entre as mesmas.

Quadro 11. Resumo da análise de variância referente ao fósforo acumulado na massa seca da parte aérea da soja, cultivada no Latossolo Vermelho distroférico.

Causas de Variação	G. L.	Quadrados médios
Bloco	2	22,017
Calagem	1	199,395**
Fontes de fosfatos	2	263,361**
Doses de fosfatos	5	741,659**
Calagem x fontes de fosfatos	2	22,473**
Calagem x doses	5	9,297*
Fontes de fosfatos x doses	10	48,505**
Resíduo	80	4,000
Média geral		12,96
Coefficiente de variação		15,4%

** = significativo a 1% pelo teste F; * = significativo a 5% pelo teste F.

Com os resultados obtidos nos testes para comparações de médias (Quadros 12 e 13), observou-se um melhor desempenho na utilização de superfosfato triplo em relação aos fosfatos naturais, tanto na presença como na ausência de calagem e um efeito negativo da calagem na habilidade da planta em acumular fósforo na massa seca.

Quadro 12. Valores médios de fósforo acumulado na massa seca da parte aérea, para fontes de fertilizantes fosfatados, no Latossolo Vermelho distroférico, na ausência e presença de calagem.

Calagem	Fósforo acumulado na parte aérea (mg vaso ⁻¹)			Média de calagem
	Arad	Gafsa	S. Triplo	
Ausência	13,12 bA	13,28 bA	16,56 aA	14,32 A
Presença	9,02 bB	10,22 bA	15,56 aA	11,60 B
Média de Fosfatos	11,07 b	11,75 b	16,06 a	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem significativamente a 5% de probabilidade pelos testes de Duncan e t ($t^2 = F$), respectivamente.

Ao estudar as equações de regressão ajustadas, na ausência de calagem (Figura 4) e na presença de calagem (Figura 5), pode-se observar que as plantas adubadas com

superfosfato triplo, acumularam mais fósforo, na massa seca da parte aérea, na presença da calagem e com a dose utilizada de 400 mg dm^{-3} , cujo valor acumulado foi de $30,53 \text{ mg vaso}^{-1}$. O mesmo não ocorreu com a utilização dos fosfatos naturais, pois se observou melhor resposta das plantas nos tratamentos na ausência de calagem, cujo o acúmulo máximo de fósforo foi de $19,44 \text{ mg vaso}^{-1}$, com a dose utilizada de 400 mg dm^{-3} , para o fosfato de Arad e $17,88 \text{ mg vaso}^{-1}$ de fósforo acumulado, com a dose estimada de $359,75 \text{ mg dm}^{-3}$, para o fosfato de Gafsa.

Os fosfatos naturais reativos de Arad e Gafsa, também, obtiveram desempenho semelhante entre si, porém, inferior ao do superfosfato triplo. No teste comparativo de médias e com as equações de regressão ficou evidente o efeito negativo proporcionado pela calagem no desempenho dos fosfatos naturais. Como a solubilização dos fosfatos naturais é maior com a maior acidez do solo (Novais & Smyth, 1999), a calagem acarretou menor solubilização de fósforo, e conseqüentemente menor quantidade desse nutriente foi absorvido e acumulado na parte aérea das plantas.

Quadro 13. Valores médios de fósforo acumulado na massa seca da parte aérea, para doses e fontes de fertilizantes fosfatados, no Latossolo Vermelho distroférico, na ausência e presença de calagem.

Doses de fósforo (mg dm^{-3})	Calagem	Fósforo acumulado na parte aérea (mg vaso^{-1})		
		Arad	Gafsa	Super Triplo
0	ausência	2,93 aA	2,93 aA	2,93 aA
	presença	1,71 aB	1,71 aB	1,71 aB
40	ausência	10,25 aA	11,79 aA	10,57 aA
	presença	7,40 aB	10,14 aA	9,07 aA
80	ausência	13,83 aA	13,98 aA	16,14 aA
	presença	7,57 bB	9,99 bB	13,50 aA
160	ausência	15,45 bA	15,35 bA	20,08 aA
	presença	11,07 bB	11,79 bB	18,08 aA
240	ausência	16,72 bA	17,71 bA	22,86 aA
	presença	11,14 bB	14,15 bB	19,19 aA
400	ausência	19,55 bA	17,92 bA	26,76 aB
	presença	15,24 bB	13,57 bB	31,82 aA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem significativamente a 5% de probabilidade pelos testes de Duncan e t ($t^2 = F$), respectivamente.

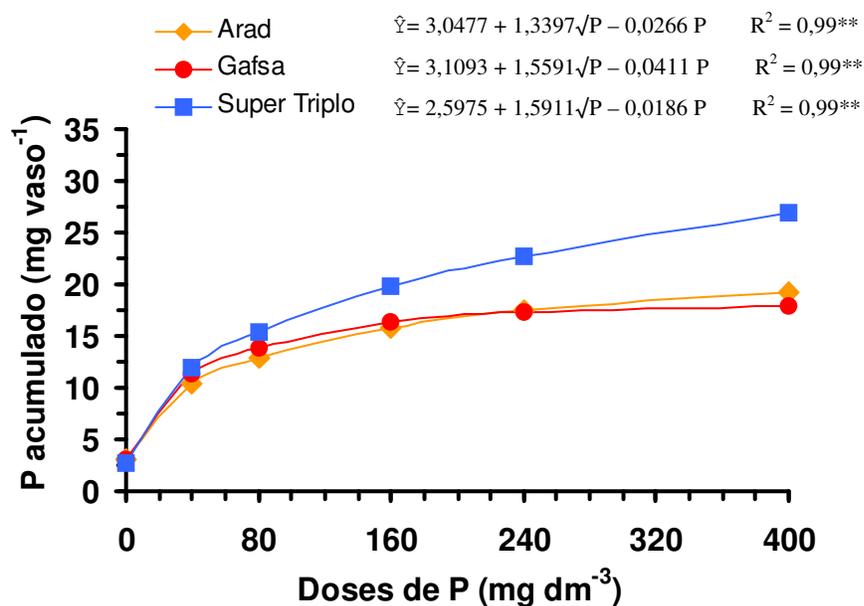


Figura 4. Fósforo acumulado na massa seca da parte aérea, em função das doses de fósforo de diferentes fontes, no Latossolo Vermelho distroférico, na ausência de calagem.

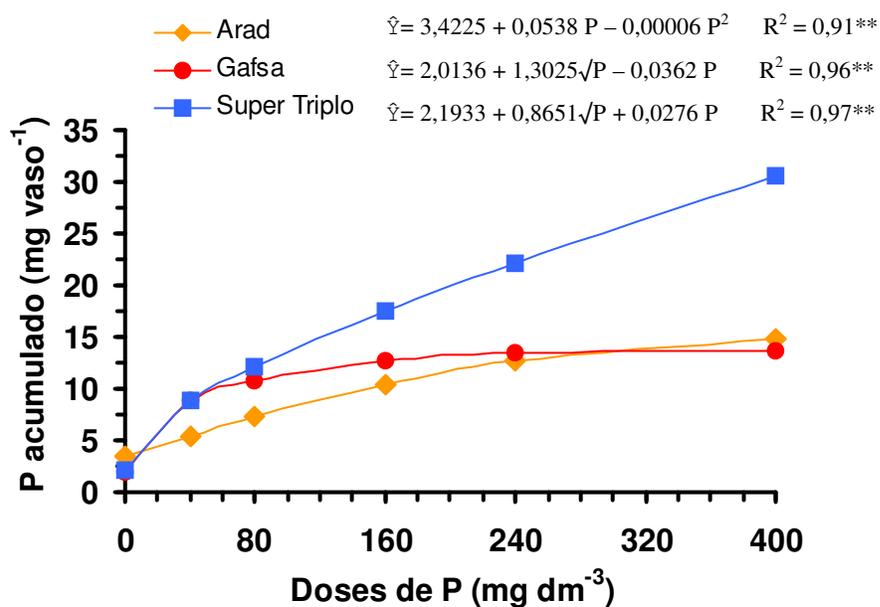


Figura 5. Fósforo acumulado na massa seca da parte aérea, em função das doses de fósforo de diferentes fontes, no Latossolo Vermelho distroférico, na presença de calagem.

4.1.5 Eficiência na utilização de fósforo pela planta

A eficiência de utilização de fósforo representa a habilidade que as plantas possuem em utilizar o fósforo absorvido na produção de massa seca da parte aérea, indicado pela quantidade de gramas de matéria seca produzida por miligramas de fósforo acumulado na massa seca da parte aérea (g mg^{-1}). Foi observado na análise de variância (Quadro 14), que não houve efeito significativo para as fontes fosfatadas utilizadas e para a interação fonte fosfatadas x doses, indicando uma equivalência dos fosfatos estudados para essa variável.

Quadro 14. Resumo da análise de variância referente à eficiência na utilização de fósforo pela planta no Latossolo Vermelho distroférico.

Causas de Variação	G. L.	Quadrados médios
Bloco	2	0,127
Calagem	1	0,435**
Fontes de fosfatos	2	0,019 ^{ns}
Doses de fosfatos	5	1,426**
Calagem x fontes de fosfatos	2	0,008 ^{ns}
Calagem x doses	5	0,059*
Fontes de fosfatos x doses	10	0,018 ^{ns}
Resíduo	80	0,019
Média geral		0,65
Coeficiente de variação		21,5%

** = significativo a 1% pelo teste F; * = significativo a 5% pelo teste F; ns = não significativo.

No teste de médias (Quadros 15 e 16), realizado com o objetivo de verificar o efeito da calagem, bem como a interação calagem x doses, observado na análise de variância, constatou-se efeito positivo da calagem e que esse se restringiu as parcelas adubadas com as doses 0, 40, 80 e 160 g dm^{-3} de fósforo.

Em decorrência do exposto, pode-se inferir, que ocorreu uma menor eficiência de utilização de fósforo nos tratamentos na ausência de calagem e nas maiores doses aplicadas. Esse aspecto, bem como a equivalência no uso dos fosfatos para essa variável, indicam que a capacidade das plantas em produzir massa seca, até a fase em que foi realizado o experimento (R_1), não está diretamente relacionada com o fósforo absorvido e acumulado na planta (Figura 1, Figura 4 e Figura 5).

Quadro 15. Valores médios de eficiência de utilização de fósforo pelas plantas, para fontes de fertilizantes fosfatados, no Latossolo Vermelho distroférico, na ausência e presença de calagem.

Calagem	Eficiência de utilização de fósforo (g mg^{-1})			Média de calagem
	Arad	Gafsa	S. Triplo	
Ausência	0,60	0,57	0,57	0,58 B
Presença	0,73	0,73	0,67	0,71 A
Média de Fosfatos	0,68	0,65	0,62	

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente a 5% de probabilidade pelo teste de t ($t^2 = F$).

Quadro 16. Valores médios de eficiência de utilização do fósforo pelas plantas, para doses de fertilizantes fosfatados, no Latossolo Vermelho distroférico, na ausência e presença de calagem.

Calagem	Eficiência de utilização de fósforo (g mg^{-1})					
	-----Doses de fósforo (mg dm^{-3})-----					
	0	40	80	160	240	400
Ausência	1,01 b	0,62 b	0,53 b	0,46 b	0,46 a	0,40 a
Presença	1,35 a	0,78 a	0,64 a	0,46 a	0,50 a	0,42 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem significativamente a 5% de probabilidade pelo teste t ($t^2 = F$).

Foi verificado anteriormente que o fósforo apresenta boa mobilidade na planta sendo redistribuído com facilidade no floema. O fósforo inorgânico (Pi) está presente, também, no floema em substancial concentração, quando as plantas estão adequadamente nutridas de fósforo, 85 a 95% do Pi total da planta estão nos vacúolos. Ocorrendo redução do suprimento de fósforo o Pi sai dos vacúolos e é redistribuído para órgãos novos em crescimento (Faquin, 1994; Marschner, 1995).

A dinâmica de fósforo na planta, abordada acima, pode explicar a maior eficiência na utilização desse nutriente pela planta, para a produção de massa seca, na adubação com as menores doses das fontes fosfatadas. Nessa condição as plantas utilizaram o fósforo disponibilizado pela adubação diretamente no seu metabolismo, enquanto que, nas doses maiores, provavelmente, ocorreu acúmulo de Pi nos vacúolos, sendo que o fósforo absorvido pelas mesmas não refletiu diretamente na produção de massa seca. Este

aspecto, também, pode explicar a maior eficiência na utilização de fósforo nos tratamentos na presença de calagem (Quadro 15 e Figura 6), já que ocorreu menor absorção de fósforo pelas plantas nesses tratamentos, quando comparados aos tratamentos na ausência de calagem (Quadro 12).

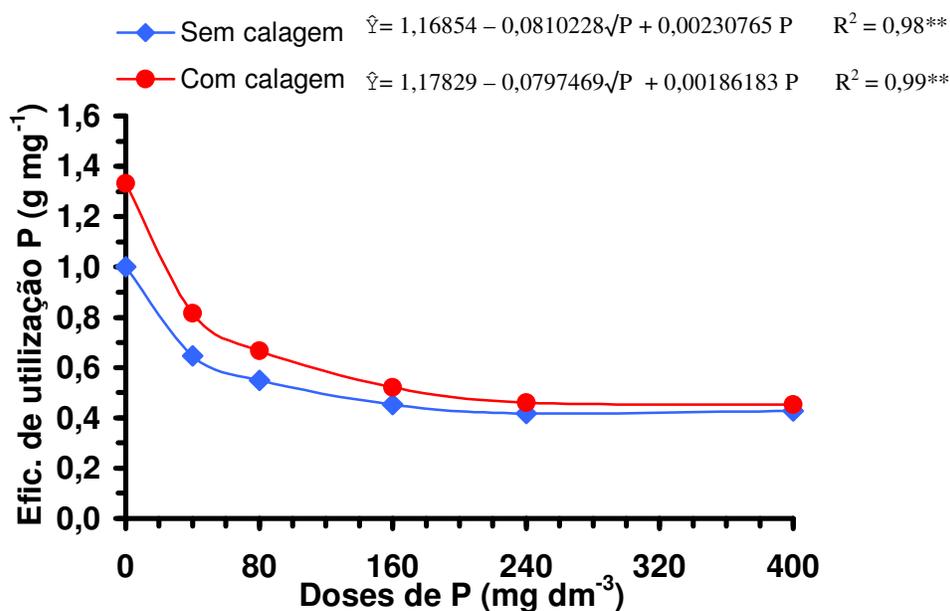


Figura 6. Eficiência de utilização de fósforo pelas plantas, em função das doses de fósforo de diferentes fontes, no Latossolo Vermelho distrófico.

4.2 Latossolo Vermelho distrófico

4.2.1 Produção de massa seca na parte aérea

Na análise de variância referente à produção de massa seca da parte aérea (Quadro 17), observou-se efeito significativo para as causas de variação estudadas, sendo que os atributos químicos do solo utilizado (baixo pH, baixa saturação de bases, baixos teores de cálcio e baixa CTC) e sua característica física (Quadros 1 e 2) tiveram grande influência nos resultados obtidos.

Quadro 17. Resumo da análise de variância referente à produção de massa seca da parte aérea da soja, cultivada no Latossolo Vermelho distrófico.

Causas de Variação	G. L.	Quadrados médios
Bloco	2	1,3670
Calagem	1	18,2862**
Fontes de fosfatos	2	70,7730**
Doses de fosfatos	5	25,9261**
Calagem x fontes de fosfatos	2	25,0868**
Calagem x doses	5	3,0946**
Fontes de fosfatos x doses	10	3,0924**
Resíduo	80	0,4836
Média geral		3,9670
Coeficiente de variação		17,5%

** = significativo a 1% pelo teste F.

Como pôde ser observado no teste comparativo de médias (Quadros 18 e 19), houve semelhança no desempenho dos fosfatos naturais sendo que a calagem influenciou negativamente, acarretando menor produção de massa seca da parte aérea das plantas. Conforme Goedert *et al.* (1987), espera-se que os fosfatos naturais apresentem maior solubilidade em condições de solos ácidos e com baixos teores de cálcio trocável. Os resultados do presente estudo estão de acordo com o argumento acima citado, pois o menor desempenho, dos fosfatos naturais, ocorreu nos tratamentos na presença da calagem, a qual reduziu a acidez (Quadro 2) e forneceu cálcio ao solo.

O superfosfato triplo apresentou desempenho superior, na produção de massa seca em relação aos fosfatos naturais utilizados. No entanto, para os tratamentos sem calagem e na utilização da dose mais elevada, observou-se um desempenho similar, na produção de massa seca pela planta, entre as três fontes utilizadas (Quadro 19 e Figura 7). Certamente, para essa situação, a maior acidez do solo (Quadro 2) favoreceu uma maior solubilização dos fosfatos naturais reativos de Gafsa e de Arad. O fósforo da solução do solo, também sofre maior adsorção em solos mais intemperizados, com condições de baixo pH e grande quantidade de alumínio livre (Fassbender, 1984), situação semelhante à encontrada naturalmente nesse solo. Esse aspecto pode ter contribuído para a menor eficiência do superfosfato triplo na ausência da calagem.

Quadro 18. Valores médios de produção de massa seca da parte aérea da soja, para fontes de fertilizantes fosfatados, no Latossolo Vermelho distrófico, na ausência e presença de calagem.

Calagem	Massa seca (g vaso ⁻¹)			Média de calagem
	Arad	Gafsa	S. Triplo	
Ausencia	3,81 cA	4,29 bA	5,03 aA	4,38 A
Presença	2,24 bB	2,30 bB	6,12 aA	3,55 B
Média de Fosfatos	3,02 b	3,30 b	5,58 a	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem significativamente a 5% de probabilidade pelos testes de Duncan e t ($t^2 = F$), respectivamente.

Quadro 19. Valores médios de produção de massa seca da parte aérea da soja, para doses e fontes de fertilizantes fosfatados, no Latossolo Vermelho distrófico, na ausência e presença de calagem.

Doses de fósforo (mg dm ⁻³)	Calagem	Massa seca da parte aérea (g vaso ⁻¹)		
		Arad	Gafsa	S. Triplo
0	Ausência	1,88aA	1,88 aA	1,88 aA
	Presença	1,79 aA	1,79 aA	1,79 aA
31	Ausência	2,82 bA	3,44 abA	4,54 aB
	Presença	2,19 bB	1,85 bB	6,80 aA
62	Ausência	3,32 bA	3,75 bA	5,14 aB
	Presença	2,29 bB	2,71 bB	6,65 aA
124	Ausência	4,22 bA	4,86bA	6,05 aA
	Presença	2,01 bB	2,04 bB	6,77 aA
186	Ausência	4,71 bA	5,26 abA	7,40 aA
	Presença	2,24 bB	2,61 bB	6,33 aA
310	Ausência	5,92 aA	6,56 aA	6,25 aA
	Presença	2,94 bB	2,80 bB	7,32 aA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem significativamente a 5% de probabilidade pelos testes de Duncan e t ($t^2 = F$), respectivamente.

No estudo das equações de regressão (Figuras 7 e 8) observou-se o efeito da calagem sobre os fosfatos estudados, prejudicando o desempenho dos fosfatos naturais, na produção de massa seca da parte aérea, e favorecendo o desempenho do superfosfato triplo. Para essa última fonte, na ausência da calagem, a produção máxima de massa seca (6,35 g vaso⁻¹) foi alcançada com a dose estimada de 242,11 mg dm⁻³ de fósforo. A mesma produção de massa seca, na presença de calagem, foi obtida com a dose estimada de 46,95 mg dm⁻³ de fósforo. Esse fato demonstra que a calagem bem utilizada como

prática agrícola, representa uma economia substancial no uso de fontes solúveis para adubação fosfatada. No experimento realizado a calagem proporcionou com o uso do superfosfato triplo, para a máxima produção de massa seca, uma redução na dose estimada de fósforo de aproximadamente 81% .

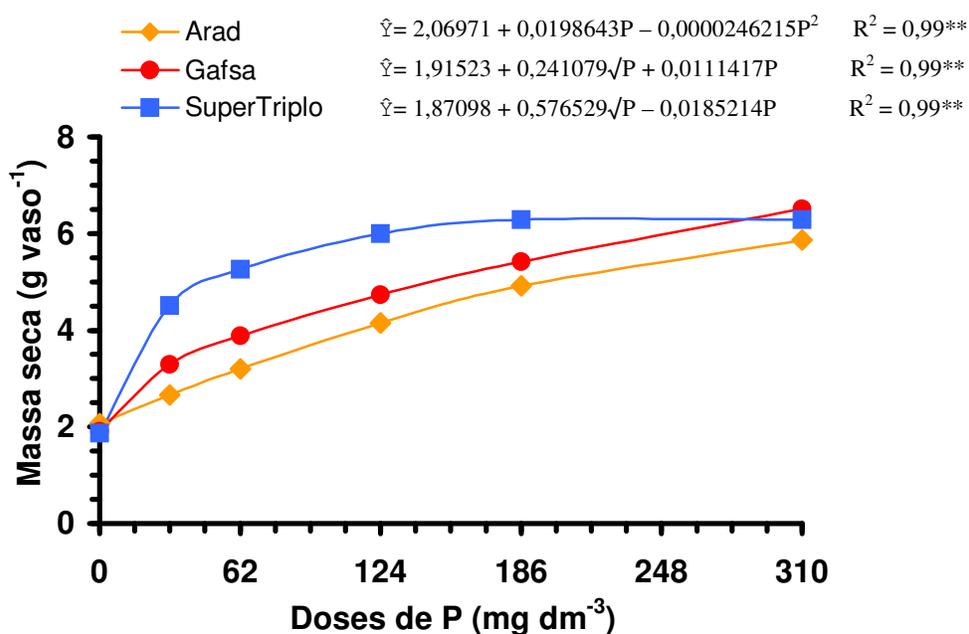


Figura 7. Produção de massa seca da parte aérea de plantas de soja, em função das doses de fósforo de diferentes fontes, no Latossolo Vermelho distrófico, na ausência de calagem.

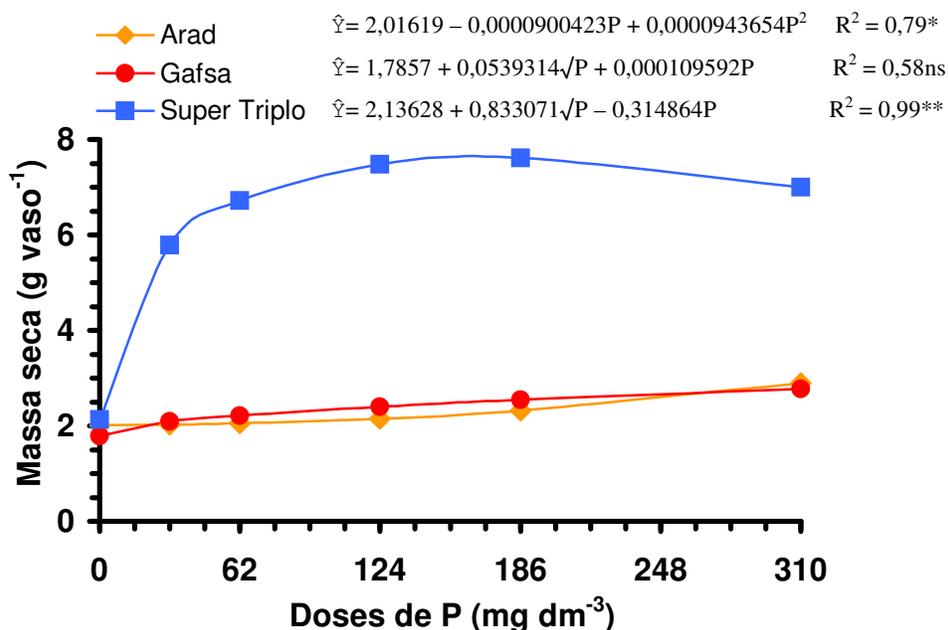


Figura 8. Produção de massa seca da parte aérea de plantas de soja, em função das doses de fósforo de diferentes fontes, no Latossolo Vermelho distrófico, na presença de calagem.

4.2.2 Altura de plantas

Esta variável foi significativamente influenciada pela maioria das causas de variação estudadas, com exceção da interação calagem x doses (Quadro 20).

Quadro 20. Resumoda análise de variância referente à altura de plantas de soja, cultivadas no Latossolo Vermelho distrófico.

Causas de Variação	G. L.	Quadrados médios
Bloco	2	2169,009
Calagem	1	625,9239*
Fontes de fosfatos	2	3618,906**
Doses de fosfatos	5	2709,342**
Calagem x fontes de fosfatos	2	2277,934**
Calagem x doses	5	38,4648 ^{ns}
Fontes de fosfatos x doses	10	267,3912*
Resíduo	80	111,6952
Média geral		85,8700
Coefficiente de variação		12,3%

** = significativo a 1% pelo teste F; * = significativo a 5% pelo teste F; ns = não significativo.

A partir dos resultados obtidos, comparou-se a altura média das plantas, para cada fonte de fosfato, na presença e na ausência de calagem. Observou-se que a calagem provocou efeito negativo nos tratamentos com os fosfatos de Arad e de Gafsa, e efeito positivo nos tratamentos com o uso do superfosfato triplo (Quadro 21). O desempenho negativo dos fosfatos naturais na presença da calagem, também, já foi observado por outros pesquisadores (Cantarutti *et al*, 1981 e Novelino *et al*, 1985). Este fato é atribuído à redução na ação dos fatores solubilizadores desses fosfatos, tais como pH e alumínio trocável entre outros, associados à baixa atividade do cálcio na solução do solo, sendo importante observar que o cálcio em maior atividade na solução do solo atua como íon comum ao cálcio constituinte dos fosfatos naturais e deprime a solubilização desses fosfatos (Novais e Smyth, 1999).

Como já foi citado anteriormente, o fósforo da solução do solo sofre maior fixação nos solos mais intemperizados (Fassbender, 1984), com baixo pH e grande quantidade de alumínio livre, condições naturalmente encontradas no LVd (Quadros 1 e 2). Tais fatores, provavelmente, contribuíram com a menor altura média de plantas observada para os tratamentos, com o superfosfato triplo, na ausência da calagem, quando comparada a média dos tratamentos na presença de calagem (Quadros 21), tendo em vista que essa fonte fosfatada apresenta boa solubilidade em água.

Quadro 21. Valores médios de altura de plantas de soja, para fontes de fertilizantes fosfatados, no Latossolo Vermelho distrófico, na ausência e presença de calagem.

Calagem	Altura de plantas (cm)			Média de calagem
	Arad	Gafsa	S. Triplo	
Ausência	85,44 aA	88,72 aA	90,67 aB	88,28 A
Presença	73,00 bB	73,25 bB	104,14 aA	83,46 A
Média de Fosfatos	79,22 b	80,99 b	97,41 a	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem significativamente a 5% de probabilidade pelos testes de Duncan e t ($t^2 = F$), respectivamente.

Também, foi possível observar que para a altura das plantas, na ausência de calagem, as três fontes de fosfatos utilizadas foram equivalentes entre si e na presença de calagem, na média dos tratamentos, o superfosfato triplo obteve desempenho superior aos dos fosfatos de Arad e de Gafsa que foram equivalentes entre si (Quadro 21).

Com os resultados obtidos pelo teste de médias (Quadro 22) e no estudo das equações de regressão (Figura 9), foi possível observar que dentro de cada dose utilizada, as plantas obtiveram altura média maior nos tratamentos adubados com o superfosfato triplo, sendo o desempenho dos fosfatos naturais, dentro de cada dose utilizada, também, semelhante entre si.

Quadro 22. Valores médios de altura de plantas de soja, para doses e fontes de fertilizantes fosfatados, no Latossolo Vermelho distrófico

Doses de fósforo (mg dm ⁻³)	Altura de Plantas (cm)		
	Arad	Gafsa	S. Triplo
0	61,83 a	61,83 a	61,83 a
31	75,58 b	73,75 b	108,75 a
62	81,50 b	78,42 b	101,42 a
124	82,58 b	87,00 b	104,08 a
186	83,33 b	90,67 b	103,42 a
310	88,50 b	94,25 ab	104,92 a

Médias seguidas de mesma na linha, não diferem significativamente a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

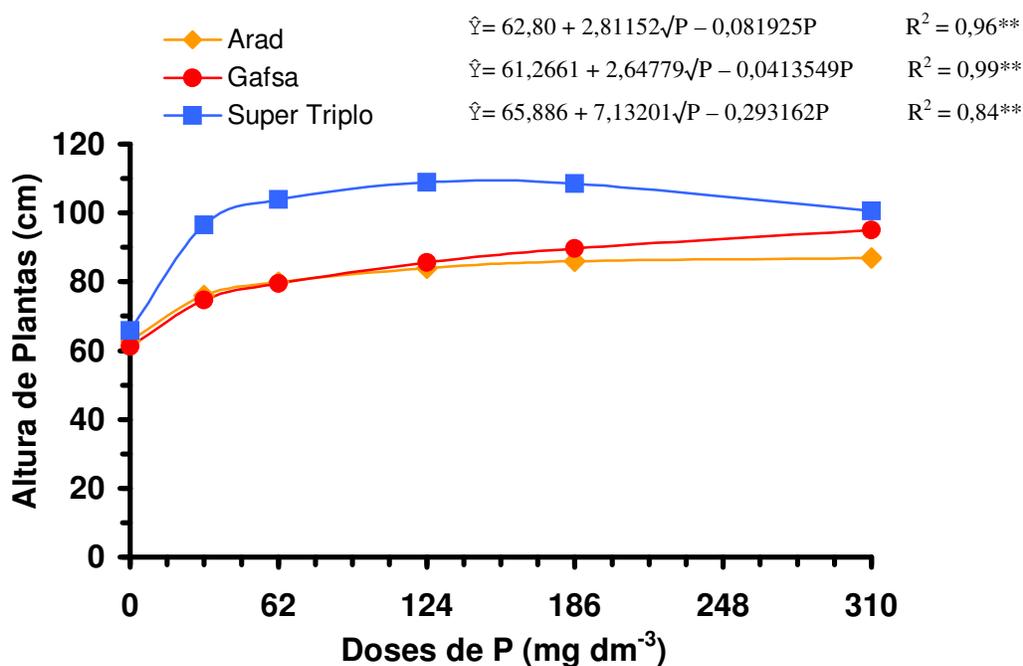


Figura 9. Altura de plantas de soja, em função das doses de fósforo de diferentes fontes, no Latossolo Vermelho distrófico.

Através das equações de regressão (Figura 9) verificou-se que máxima altura de plantas (109,26 cm) foi atingida, na utilização do superfosfato triplo, com a dose estimada de $147,96 \text{ mg dm}^{-3}$, o que destacou sua superioridade sobre os fosfatos naturais utilizados, os quais obtiveram máxima altura de plantas de 86,92 e 95,06 cm, com a dose estimada de $294,43 \text{ mg dm}^{-3}$ para o fosfato de Arad e dose utilizada de 310 mg dm^{-3} para o fosfato de Gafsa respectivamente.

4.2.3 Teor de fósforo na massa seca da parte aérea

Na análise de variância, referente ao teor de fósforo na massa seca da parte aérea das plantas (Quadro 23), verificou-se resultados semelhantes aos observados para a variável altura de plantas, onde não foi verificado efeito para interação calagem x doses.

Quadro 23. Resumo da análise de variância referente ao teor de fósforo na massa seca da parte aérea da soja, cultivada no Latossolo Vermelho distrófico.

Causas de Variação	G. L.	Quadrados médios
Bloco	2	0,5234
Calagem	1	8,1785**
Fontes de fosfatos	2	13,1405**
Doses de fosfatos	5	9,7441**
Calagem x fontes de fosfatos	2	0,8404**
Calagem x doses	5	0,2402 ^{ns}
Fontes de fosfato x doses	10	2,8492**
Resíduo	80	0,1615
Média geral		1,9883
Coeficiente de variação		20,2%

** = significativo a 1% pelo teste F; * = significativo a 5% pelo teste F; ns = não significativo.

Ao analisar os teores médios de fósforo na massa seca da parte aérea da planta (Quadros 24 e 25), observou-se que as plantas cultivadas com o superfosfato triplo apresentaram valores maiores para essa variável. Também, observou-se (Figura 10) que ocorreu uma pequena variação de valores com o aumento das doses dos fosfatos de Arad e de Gafsa, indicando que esses fosfatos, não foram eficientes em promover uma resposta mais evidente da planta, no que se refere ao teor de fósforo da parte aérea, mesmo nas doses mais elevadas. No entanto, ao analisar a produção de massa seca no LVd, para os fosfatos naturais, foi verificado efeito significativo das doses utilizadas (Figuras 7 e 8).

Quadro 24. Valores médios do teor de fósforo na massa seca da parte aérea, para fontes de fertilizantes fosfatados, no Latossolo Vermelho distrófico, na ausência e presença de calagem.

Calagem	Teor de fósforo na massa seca da parte aérea (g kg ⁻¹)			Média de calagem
	Arad	Gafsa	S. Triplo	
Ausência	1,77 cA	2,22 bA	2,80 aA	2,26 A
Presença	1,25 bB	1,36 bB	2,54 aA	1,71 B
Média de Fosfatos	1,51 b	1,79 b	2,67 a	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem significativamente a 5% de probabilidade pelos testes de Duncan e t ($t^2 = F$), respectivamente.

Quadro 25. Valores médios do teor de fósforo na massa seca da parte aérea, para doses e fontes de fertilizantes fosfatados, no Latossolo Vermelho distrófico.

Doses de fósforo (mg dm ⁻³)	Teor de fósforo na parte aérea (g kg ⁻¹)		
	Arad	Gafsa	S. Triplo
0	0,81 a	0,81 a	0,81 a
31	1,66 b	2,14 a	1,65 b
62	1,58 b	1,78 b	2,27 a
124	1,33 c	1,86 b	2,68 a
186	1,73 b	2,00 b	3,63 a
310	1,93 b	2,15 b	9,46 a

Médias seguidas de mesma letra na linha, não diferem significativamente a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

Para os fosfatos de Gafsa e Arad, o efeito positivo do aumento das doses na produção de massa seca sem que ocorresse um efeito positivo tão evidente no teor de fósforo da parte aérea, está de acordo com Muniz *et al.* (1985), Fabres *et al.* (1987), Faquin (1994) e Marschner (1995), os quais verificaram que em plantas adequadamente nutridas de fósforo, 85 a 95% do fósforo inorgânico (Pi) total da planta estão nos vacúolos e que em plantas com suprimento inadequado de fósforo, a quantidade de Pi é consideravelmente menor, quando comparada à quantidade de Pi das plantas adequadamente supridas, já a quantidade de fósforo orgânico permanece praticamente inalterada para as duas situações. Isso indica que grande parte do fósforo absorvido, nos tratamentos com os fosfatos naturais, foi utilizada no metabolismo das plantas sendo o fósforo aproveitado nos componentes orgânicos, o que acarretou em pequena quantidade de Pi disponível para ser armazenada nos vacúolos.

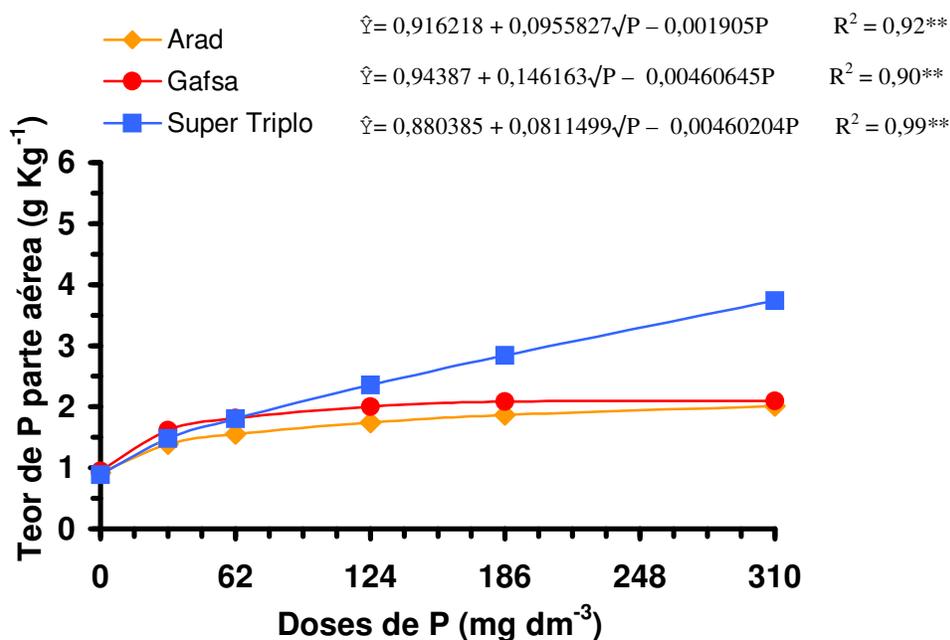


Figura 10. Teor de fósforo na massa seca da parte aérea, em função de doses de fósforo de diferentes fontes, no Latossolo Vermelho distrófico.

A maior concentração de fósforo na massa seca da parte aérea, apresentada nos tratamentos com superfosfato triplo, estão de acordo com diversos autores (Goerdert & Lobato, 1980; Tisdale *et al.*, 1984; Novais & Smyth, 1999), os quais verificaram, que a capacidade das plantas se restringe em aproveitar o fósforo contido na solução do solo. Por possuir maior solubilidade o superfosfato triplo disponibilizou maior quantidade de fósforo em solução, o que resultou em maior absorção de fósforo pelas plantas e com as plantas mais bem nutridas com esse nutriente, pôde-se observar, a partir da dose de 124 mg dm⁻³ de fósforo, maiores teores de fósforo na parte aérea, provavelmente, pela maior quantidade de Pi armazenados nos vacúolos das células.

4.2.4 Fósforo acumulado na massa seca da parte aérea

Na análise de variância (Quadro 26), para a quantidade de fósforo acumulado na massa seca da parte aérea, observou-se que não ocorreu efeito da interação calagem x

doses. Esse aspecto permite realizar o teste comparativo de médias, para cada fonte fosfatada, utilizando para cada dose, a média dos valores na ausência e na presença de calagem, como foi procedido nas variáveis altura de plantas e teor de fósforo na massa seca da parte aérea.

Quadro 26. Resumo da análise de variância referente ao fósforo acumulado na massa seca da parte aérea da soja, cultivada no Latossolo Vermelho distrófico.

Causas de Variação	G. L.	Quadrados médios
Bloco	2	24,2820
Calagem	1	263,6826**
Fontes de fosfatos	2	1411,800**
Doses de fosfatos	5	552,8143**
Calagem x fontes de fosfatos	2	163,0872**
Calagem x doses	5	13,1083 ^{ns}
Fontes de fosfatos x doses	10	155,7653**
Resíduo	80	7,6430
Média geral		9,3881
Coeficiente de variação		29,5%

** = significativo a 1% pelo teste F; ns = não significativo.

Verificou-se que os valores médios de fósforo acumulado na massa seca da parte aérea das plantas cultivadas com os fosfatos naturais reativos de Arad e de Gafsa, como fontes de fósforo (Quadro 27), foram equivalentes entre si, inclusive quando comparados dentro de cada dose utilizada (Quadro 28), porém, foram menores que o valor médio obtido, com as plantas cultivadas com superfosfato triplo.

O melhor desempenho do superfosfato triplo em promover acúmulo de fósforo na massa seca, também é evidente no estudo das equações de regressão curvas (Figura 11).

Por razões citadas anteriormente, a maior acidez, nos tratamentos sem calagem, promoveu maior solubilização dos fosfatos naturais, resultando em maior acúmulo de fósforo na parte aérea das plantas nas parcelas adubadas com esses fosfatos (Quadro 27).

Quadro 27. Valores médios de fósforo acumulado na massa seca da parte aérea, para fontes de fertilizantes fosfatados, no Latossolo Vermelho distrófico, na ausência e presença de calagem.

Calagem	Fósforo acumulado na parte aérea (mg vaso ⁻¹)			Média de calagem
	Arad	Gafsa	S. Triplo	
Ausência	7,07 cA	10,01 bA	15,77 aA	10,95 A
Presença	2,86 bB	3,28 bB	17,34 aA	7,83 B
Média de Fosfatos	4,97 b	6,65 b	16,56 a	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem significativamente a 5% de probabilidade pelos testes de Duncan e t ($t^2 = F$), respectivamente.

Quadro 28. Valores médios de fósforo acumulado na massa seca da parte aérea, para doses e fontes de fertilizantes fosfatados, no Latossolo Vermelho distrófico.

Doses de fósforo (mg dm ⁻³)	Fósforo acumulado na parte aérea (mg vaso ⁻¹)		
	Arad	Gafsa	S. Triplo
0	1,48 a	1,48 a	1,48 a
31	4,27 b	6,42 ab	9,41 a
62	4,59 b	6,00 b	13,34 a
124	4,42 b	7,16 b	16,86 a
186	6,05 b	8,39 b	24,58 a
310	8,97 b	10,42 b	33,65 a

Médias seguidas de mesma letra na linha, não diferem significativamente a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

Ao observar a produção de massa seca no LVd (Figura 7 e Figura 8) e o teor de fósforo na parte aérea (Figura 10), é possível inferir que o acúmulo de fósforo na parte aérea das plantas, para os fosfatos naturais, se deu principalmente devido a maior produção de massa seca do que pelo aumento de teor desse nutriente na parte aérea. Pode-se dizer que, nos tratamentos adubados com os fosfatos de Gafsa e Arad, a menor disponibilidade de fósforo na solução do solo, resultante da menor solubilidade desses fosfatos, acarretou em menor absorção de fósforo pelas plantas e estando essas plantas inadequadamente supridas desse nutriente, o fósforo absorvido foi, na sua maioria, metabolizado em compostos orgânicos (Muniz *et al.*, 1985; Fabres *et al.*, 1987; Faquin, 1994; Marschner, 1995).

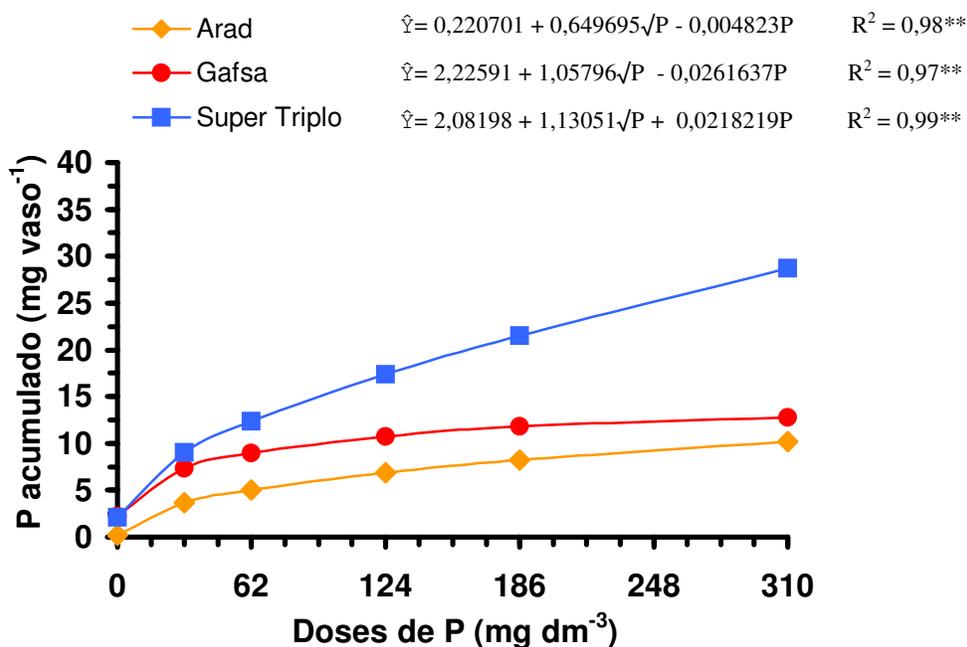


Figura 11. Fósforo acumulado na massa seca da parte aérea, em função das doses de fósforo de diferentes fontes, no Latossolo Vermelho distrófico.

A calagem não acarretou efeito significativo, para a quantidade de fósforo acumulado na massa seca da parte aérea, nas parcelas adubadas com o superfosfato triplo (Quadro 27) e analisando as Figuras 7, 8, 10 e 11, verifica-se que a quantidade de fósforo acumulado na parte aérea foi influenciada pelo aumento de massa seca e pelo aumento no teor de fósforo na parte aérea, diferentemente do ocorrido nos tratamentos com os fosfatos naturais. Isso demonstra que além das plantas, adubadas com superfosfato triplo, utilizarem o fósforo absorvido para seu metabolismo na formação de compostos orgânicos, as mesmas, por estarem mais bem supridas desse nutriente, provavelmente, armazenaram maior quantidade de fósforo nos vacúolos, quando comparadas as plantas adubadas com os fosfatos de Gafsa e Arad

4.2.5 Eficiência na utilização de fósforo pela planta

A eficiência de utilização de fósforo pela planta, conforme foi observado na análise de variância (Quadro 29), foi influenciada significativamente por todas as causas de variação estudadas.

Quadro 29. Resumo da análise de variância referente à eficiência na utilização de fósforo pela planta, no Latossolo Vermelho distrófico.

Causas de Variação	G. L.	Quadrados médios
Bloco	2	0,0269
Calagem	1	1,5108**
Fontes de fosfatos	2	0,4683**
Doses de fosfatos	5	1,7971**
Calagem x fontes fosfatos	2	0,1144**
Calagem x doses	5	0,0759**
Fontes fosfatos x doses	10	0,0553**
Resíduo	80	0,0143
Média geral		0,6917
Coefficiente de variação		18,1%

** = significativo a 1% pelo teste F.

A eficiência das plantas em produzir massa seca está inversamente relacionada com a quantidade de fósforo absorvido. Foi verificado nos testes comparativos de médias dos Quadros 30 e 31 e no estudo das equações de regressão (Figuras 12 e 13), que nas situações onde ocorreram maiores acúmulos de fósforo na parte aérea das plantas, isto é, para os tratamentos na ausência de calagem e na utilização do superfosfato triplo (Quadros 27 e 28 e Figura 11), ocorreu menor eficiência das plantas na utilização de fósforo para a produção de massa seca.

Quadro 30. Valores médios da eficiência de utilização de fósforo pelas plantas, para fontes de fertilizantes fosfatados, no Latossolo Vermelho distrófico, na ausência e presença de calagem.

Calagem	Eficiência de utilização de fósforo (g mg^{-1})			Média de calagem
	Arad	Gafsa	S. Triplo	
Ausência	0,63 aB	0,52 bB	0,48 bA	0,54 B
Presença	0,90 aA	0,85 aA	0,59 bA	0,78 A
Média de Fosfatos	0,77 a	0,69 a	0,54 b	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem significativamente a 5% de probabilidade pelos testes de Duncan e t ($t^2 = F$), respectivamente.

O fósforo nas plantas aparece nas formas orgânicas e inorgânicas, sendo que nas folhas a proporção de fósforo inorgânico (Pi) para fósforo orgânico, é dependente do estado nutricional em que as plantas se encontram. Em plantas com suprimento inadequado de fósforo, os valores de Pi são menores, quando comparados aos de plantas

adequadamente supridas, enquanto os valores de fósforo orgânico permanecem praticamente inalterados (Faquin, 1994; Marschner, 1995).

Como já citado anteriormente, em plantas inadequadamente supridas de fósforo ocorre menor acúmulo de Pi nos vacúolos, sendo o fósforo absorvido utilizado diretamente no metabolismo das plantas e incorporado em compostos orgânicos.

Nos tratamentos na presença de calagem, verificou-se elevação do pH do solo (Quadro 2), o que provavelmente, resultou em menor solubilidade dos fosfatos naturais, acarretando menor absorção de fósforo pelas plantas. É possível, então, que pelos motivos citados acima, as plantas com menor suprimento de fósforo, produziram maior quantidade de massa seca em gramas por unidade de fósforo absorvido em miligramas..

Quadro 31. Valores médios da eficiência de utilização de fósforo pelas plantas, para doses e fontes de fertilizantes fosfatados, no Latossolo Vermelho distrófico, na ausência e presença de calagem.

Doses de fósforo (mg dm ⁻³)	Calagem	Eficiência de utilização de fósforo (g mg ⁻¹)		
		Arad	Gafsa	S. Triplo
0	ausência	1,05 aB	1,05 aB	1,05 aB
	presença	1,52 aA	1,52 aA	1,52 aA
31	ausência	0,51 abB	0,34 bB	0,63 aA
	presença	0,75 aA	0,85 aA	0,59 bA
62	ausência	0,54 aB	0,45 aB	0,41 aA
	presença	0,79 aA	0,80 aA	0,51 bA
124	ausência	0,64 aB	0,42 bB	0,34 bB
	presença	0,98 aA	0,75 aA	0,43 bA
186	ausência	0,59 aA	0,43 abA	0,26 bA
	presença	0,63 aA	0,66 aA	0,31 bA
310	ausência	0,43 aB	0,43 aA	0,21 bA
	presença	0,70 aA	0,53 aA	0,20 bA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem significativamente a 5% de probabilidade pelos testes de Duncan e t ($t^2 = F$), respectivamente.

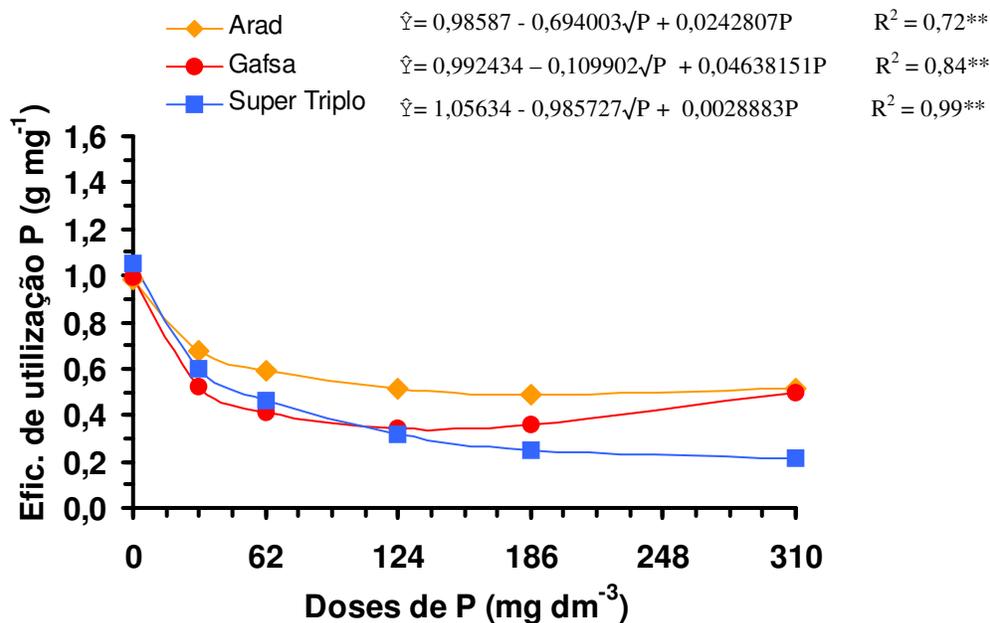


Figura 12. Eficiência de utilização de fósforo pelas plantas, em função das doses de fósforo de diferentes fontes, no Latossolo Vermelho distrófico, na ausência de calagem.

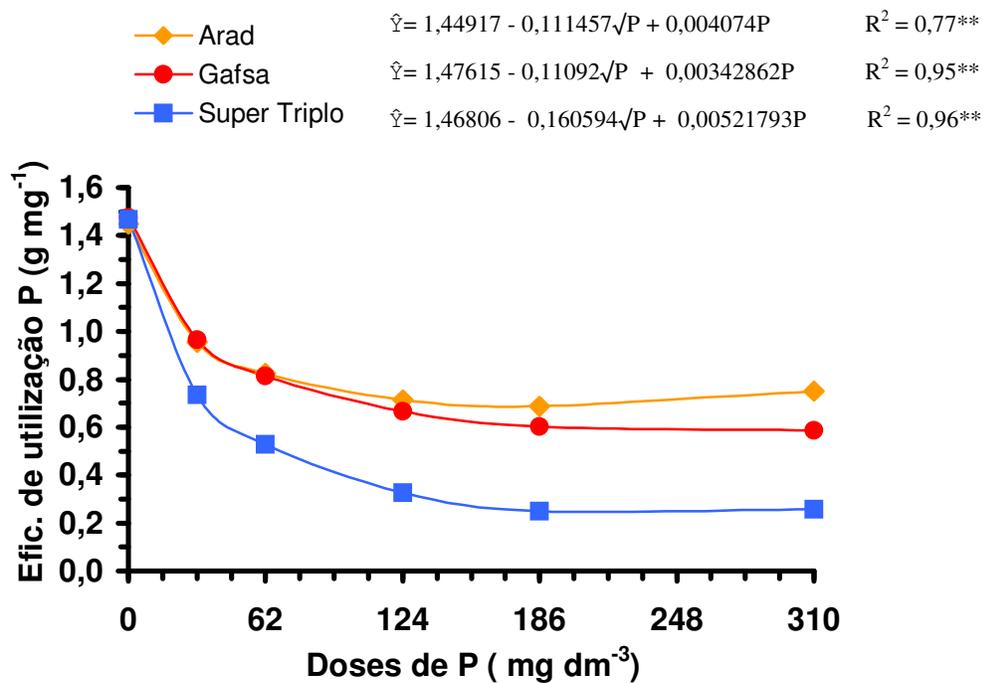


Figura 13. Eficiência de utilização de fósforo pelas plantas, em função das doses de fósforo de diferentes fontes, no Latossolo Vermelho distrófico, na presença de calagem.

4.3 Avaliação dos extratores químicos utilizados

Na avaliação dos extratores químicos (Olsen e Mehlich-1) utilizados neste trabalho, procurou-se identificar qual dos extratores proporcionou melhor correlação com a reposta biológica das plantas, em função do uso dos fosfatos estudados, na ausência e presença da calagem em cada de solo.

4.3.1 Avaliação dos extratores para o Latossolo Vermelho distroférico

Na análise de variância dos dados (Quadro 32) e no teste comparativo de médias do Quadro 33, observou-se que não houve efeito da calagem e de suas interações com fonte de fosfatos e com doses, para o fósforo extraído pelos extratores Olsen e Mehlich-1.

Ao realizar o teste comparativo de médias (Quadros 33), com o objetivo de verificar o efeito das fontes fosfatadas e das interações fonte de fosfatos x doses e calagem x fonte de fosfato, para o extrator Olsem (Quadro 32), verificou-se que os tratamentos, nos quais foram utilizados os fosfatos de Arad e de Gafsa, obteve-se, após a colheita das plantas, menor extração de fósforo do solo, do que nos tratamentos com superfosfatos triplo, inclusive quando comparados dentro de dose aplicada (Quadro 34). Observou-se, também, que os tratamentos com os fosfatos naturais foram equivalentes entre si nos valores de fósforo extraído pelo extrator Olsen.

Quadro 32. Resumo da análise de variância referente extração de fósforo, pelos extratores Olsen e Mehlich-1, no Latossolo Vermelho distroférico.

Causas de Variação	G. L.	Olsen	Mehlich-1
		Quadrados médios	Quadrados médios
Bloco	2	2,0860	0,1961
Calagem	1	6,1055 ^{ns}	111,2853 ^{ns}
Fontes de fosfatos	2	6450,345**	180,2155**
Doses de fosfatos	5	3140,315**	9990,865**
Calagem x fontes de fosfatos	2	23,0937*	21,0060 ^{ns}
Calagem x doses	5	4,9537 ^{ns}	39,1723 ^{ns}
Fontes de fosfatos x doses	10	1618,945**	22,4118 ^{ns}
Resíduo	80	6,1941	32,6688
Média geral		11,8654	22,3968
Coeficiente de variação		20,8%	25,5%

** = significativo a 1% pelo teste F; * = significativo a 5% pelo teste F; ns = não significativo.

Com o estudo das equações de regressão (Figura 14) observou-se a maior extração de fósforo, pelo extrator Olsen, com o aumento das doses nas três fontes fosfatadas utilizadas, sendo mais intensa a extração de fósforo nos tratamentos com superfosfato triplo.

Quadro 33. Valores médios da extração de fósforo pelo extrator Olsen para fontes de fertilizantes fosfatados, no Latossolo Vermelho distroférico, na ausência e presença de calagem, após a colheita das plantas.

Calagem	Extração de fósforo pelo método Olsen (mg dm^{-3})			Média de calagem
	Arad	Gafsa	S. Triplo	
Ausência	4,56 bA	4,33 bA	26,24 aA	11,71 A
Presença	4,05 bA	3,94 bA	28,57 aA	12,19 A
Média de Fosfatos	4,31 b	4,14 b	27,16 a	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem significativamente a 5% de probabilidade pelos testes de Duncan e t ($t^2 = F$), respectivamente.

Quadro 34. Valores médios da extração de fósforo pelo extrator Olsen para doses e fontes de fertilizantes fosfatados, no Latossolo Vermelho distroférico, após a colheita das plantas.

Doses de fósforo (mg dm^{-3})	Extração de fósforo pelo método Olsen (mg dm^{-3})		
	Arad	Gafsa	S. Triplo
0	0,16 a	0,16 a	0,16 a
40	1,26 b	1,10 b	4,30 a
80	2,21 b	1,90 b	9,36 a
160	4,78 b	4,62 b	22,90 a
240	7,21 b	7,21 b	42,79 a
400	10,19 b	9,85 b	84,93 a

Médias seguidas de mesma letra na linha, não diferem significativamente a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

Para o fósforo recuperado pelo extrator Mehlich-1, no qual só foi verificado efeito do uso das doses e das fontes fosfatadas, não ocorrendo efeito da calagem e das interações estudadas (Quadro 32), ocorreu maior extração de fósforo do solo, após a colheita das plantas, para os tratamentos com o fosfato natural reativo de Arad, sendo as quantidades extraídas nos tratamentos com o fosfato de Gafsa e o superfosfato triplo equivalentes entre si (Quadro 35). Comparando as Figuras 14 e 15 foi possível verificar, também, que nos tratamentos com os fosfatos naturais, as quantidades de fósforo

extraídas pelo extrator Mehlich-1 foram substancialmente maiores do que as quantidades extraídas pelo extrator Olsen.

Quadro 35. Valores médios da extração de fósforo pelo extrator Mehlich-1 para fontes de fertilizantes fosfatados, no Latossolo Vermelho distroférico, após a colheita das plantas.

	Extração de fósforo pelo método Mehlich-1 (mg dm^{-3})		
	Arad	Gafsa	S. Triplo
Média de Fosfatos	24,92 a	20,63 b	21,64 b

Médias seguidas de mesma letra na linha, não diferem significativamente a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

Sabe-se que o método Mehlich-1 é menos indicado para solos argilosos, principalmente em solos onde foram realizadas adubações com fosfatos de baixa solubilidade em água (Raij, 1978), situação semelhante a qual foi realizado o experimento. A ação de extratores ácidos pode extrair maior quantidade de fósforo do solo, do que aquela que se encontra disponível para as plantas (Raij, 1978).

Nos Tratamentos com o uso dos fosfatos reativos de Arad e de Gafsa devido o extrator Mehlich-1 ser formado por uma solução ácida, este extrator recuperou maiores quantidade de fósforo do solo quando comparado ao extrator Olsen, que é composto por uma solução básica (Olsen & Sommers, 1982).

Brasil & Muraoka (1997), trabalhando com solos da região amazônica e plantas de arroz e caupi, indicaram para a elevada capacidade extratora do método Mehlich-1, promovendo a remoção de fósforo do solo sem a devida correspondência com a resposta biológica das plantas. No entanto, ao observar os resultados do Quadro 36 verificou-se que, dentro de cada fonte fosfatada utilizada, os extratores Olsen e Mehlich-1 possuem, entre si, correlações semelhantes com os fatores nos quais procurou-se analisar a resposta biológica das plantas, porém, pode-se dizer que, nos tratamentos com os fosfatos naturais, a menor quantidade de fósforo recuperado pelo extrator Olsen (Figura 14) estão refletidas na menor resposta biológica das plantas (Figuras 1, 3, 4 e 5), fato que não foi verificado nas quantidades extraídas de fósforo pelo extrator Mehlich-1 (Figura 15).

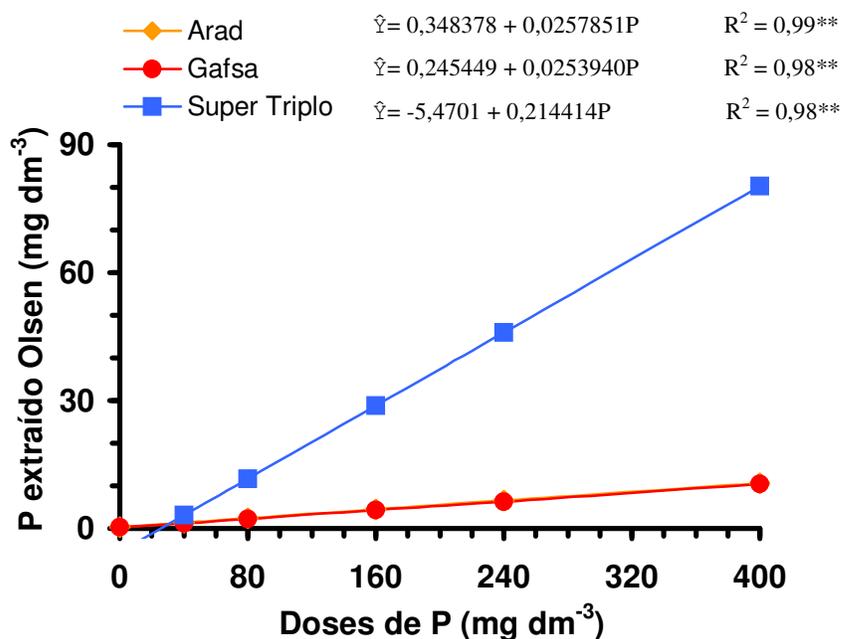


Figura 14. Extração de fósforo pelo extrator Olsen, em função das doses de fósforo de diferentes fontes, no Latossolo Vermelho distroférico.

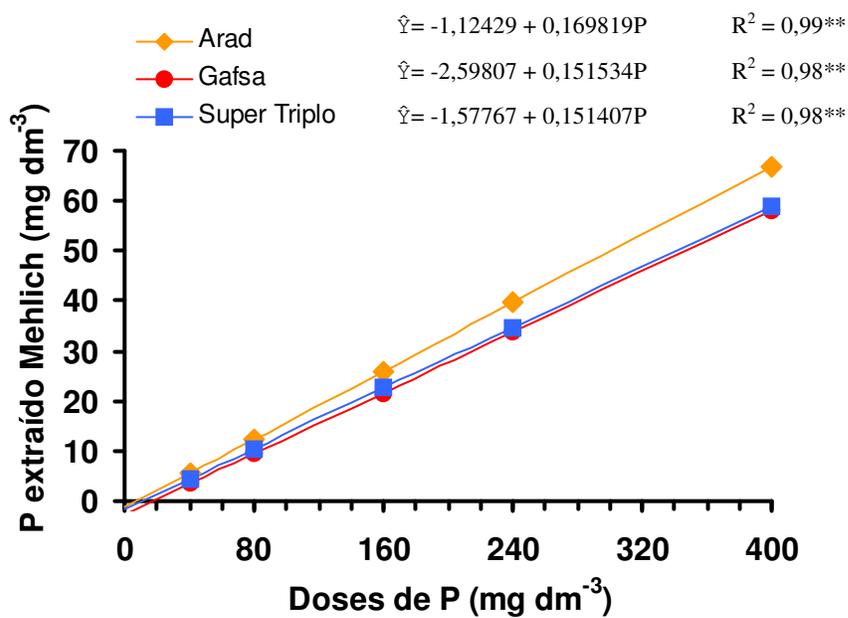


Figura 15. Extração de fósforo pelo extrator Mehlich-1, em função das doses de fósforo de diferentes fontes, no Latossolo Vermelho distroférico.

Quadro 36. Coeficientes de correlação absoluta de Pearson (r) entre os teores de fósforo no solo, extraídos pelos métodos Olsen e Mehlich-1, e massa seca da parte aérea, altura de plantas, teores de fósforo e fósforo acumulado na massa seca da parte aérea de plantas de soja, cultivadas no Latossolo Vermelho distroférrico, com diferentes fosfatos.

Método	Coeficiente de correlação (r)			
	Massa seca	Altura de plantas	Teor de fósforo	Fósforo acumulado
Fosfato natural de Arad				
Olsen	0,5863**	0,3547*	0,7521**	0,7890**
Mehlich-1	0,5405**	0,2517 ^{ns}	0,6670**	0,7138**
Fosfato natural de Gafsa				
Olsen	0,5972**	0,5322**	0,6396**	0,7447**
Mehlich-1	0,4958**	0,4170**	0,4724**	0,5730**
Superfosfato triplo				
Olsen	0,4898**	0,2840*	0,9037**	0,8543**
Mehlich-1	0,5289**	0,3542*	0,8915**	0,8627**

** = significativo a 1% pelo teste t; * = significativo a 5% pelo teste t; ns = não significativo.

4.3.2 Avaliação dos extratores para o Latossolo Vermelho distrófico

Foi verificado o efeito das principais causas de variação, bem como das interações entre estas, para os valores obtidos com a extração do fósforo do solo em ambos os métodos utilizados (Quadro 37).

Quadro 37. Resumo da análise de variância referente extração de fósforo, pelos extratores Olsen e Mehlich-1, no Latossolo Vermelho distrófico.

Causas de Variação	G. L.	Olsen	Mehlich-1
		Quadrados médios	Quadrados médios
Bloco	2	3,8514	0,6410
Calagem	1	402,0794**	80,6612*
Fontes de fosfatos	2	7228,554**	323,6557**
Doses de fosfatos	5	2599,077**	14647,33**
Calagem x fontes de fosfatos	2	158,8352**	43,7395 ⁰
Calagem x doses	5	109,0407**	179,2361**
Fontes de fosfatos x doses	10	1537,000**	78,9745**
Resíduo	80	10,0783	17,9608
Média geral		13,0249	29,2189
Coeficiente de variação		24,4%	14,5%

** = significativo a 1% pelo teste F; * = significativo a 5% pelo teste F; ⁰ = significativo a 10% pelo teste F.

Nos testes comparativos de médias (Quadros 38 e 39), verificou-se que os tratamentos com superfosfato triplo resultaram na maior quantidade de fósforo extraído pelo extrator Olsen. Os tratamentos que receberam adubação com os fosfatos naturais apresentaram, entre si, quantidades semelhantes de fósforo extraído do solo, porém, inferiores as quantidades obtidas nos tratamentos com o superfosfato triplo.

A realização da calagem não influenciou o desempenho do extrator Olsen em extrair fósforo do solo nos tratamentos adubados com superfosfato triplo. Este fato foi observado nos valores médios obtidos com os tratamentos na ausência e na presença de calagem (Quadro 38) e na maioria dos valores obtidos dentro de cada dose aplicada (Quadro 39). No entanto foi verificada uma redução expressiva na extração de fósforo, quando usado os fosfatos de Arad e Gafsa, na presença de calagem (Quadros 38 e 39) e ao analisar a reposta das plantas (Quadros 18, 19, 21, 24 e 27), foi verificado que a calagem, também, acarretou em efeito negativo para essas fontes fosfatadas.

Nos resultados obtidos com a extração pelo extrator Olsen, verificou-se que a redução da acidez do solo, com a calagem, diminuiu a solubilidade dos fertilizantes naturais fosfatados, o que resultou em menor quantidade de fósforo extraído do solo, fato coerente com as explicações de vários autores (Goerdert & Lobato, 1980; Fassbender, 1984; Goedert *et al.*, 1987; Novais & Smyth, 1999).

Quadro 38. Valores médios da extração de fósforo pelo extrator Olsen para fontes de fertilizantes fosfatados, no Latossolo Vermelho distrófico, na ausência e presença de calagem, após a colheita das plantas.

Calagem	Extração de fósforo pelo método Olsen (mg dm ⁻³)			Média de calagem
	Arad	Gafsa	S. Triplo	
Ausência	7,45 bA	8,49 bA	28,94 aA	14,96 A
Presença	2,01 bB	1,44 bB	29,81 aA	11,10 A
Média de Fosfatos	4,73 b	4,97 b	29,38 a	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem significativamente a 5% de probabilidade pelos testes de Duncan e t ($t^2 = F$), respectivamente.

Nos tratamentos na ausência de calagem, onde se verificou menor pH para o LVd (Quadro 2), foi possível observar o efeito das doses aplicadas, na extração de fósforo pelo extrator Olsen, nas três fontes estudadas (Figura 16), obtendo-se valores maiores nos

tratamentos com o superfosfato triplo, quando comparados aos dos tratamentos com os fosfatos naturais que obtiveram valores equivalentes entre si.

Com a realização da calagem que elevou o pH do LVd (Quadro 2) não foi observado, nos tratamentos com os fosfatos de Arad e de Gafsa, efeito das doses aplicadas na extração de fósforo pelo extrator Olsen (Figura 17). Na presença de calagem foi verificado, para os tratamentos com superfosfato triplo, efeito das doses aplicadas, sendo idêntico aos tratamentos na ausência de calagem (Figuras 16 e 17).

Quadro 39. Valores médios da extração de fósforo pelo extrator Olsen para doses e fontes de fertilizantes fosfatados, no Latossolo Vermelho distrófico, na ausência e presença de calagem, após a colheita das plantas.

Doses de fósforo (mg dm ⁻³)	Calagem	Extração de fósforo pelo método Olsen (mg dm ⁻³)		
		Arad	Gafsa	S. Triplo
0	ausência	2,48aA	2,48 aA	2,48 aA
	presença	1,55 aA	1,55 aA	1,55 aA
31	ausência	1,86 aA	3,11 aA	5,31 aA
	presença	2,17 aA	0,93 aB	4,68 aA
62	ausência	5,95 bA	6,59 bA	12,43 aA
	presença	2,17 bB	1,24 bB	12,43 aA
124	ausência	8,19 bA	7,87 bA	23,99 aA
	presença	2,48 bB	1,86 bB	31,96 aA
186	ausência	10,46 bA	12,76 bA	43,27 aB
	presença	1,85 bB	1,85 bB	52,44 aA
310	ausência	15,76 bA	18,12 bA	86,16 aA
	presença	1,86 bB	1,24 bB	76,00 aA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem significativamente a 5% de probabilidade pelos testes de Duncan e t ($t^2 = F$), respectivamente.

No Quadro 40 foi possível observar que, na média dos dados, não ocorreu efeito de fonte e de calagem quando realizada a extração de fósforo pelo extrator Mehlich-1. Com essa informação verificou-se a alta capacidade extratora desse extrator, que promoveu a extração idêntica de fósforo em condições que a planta obteve menor e maior resposta biológica (presença de calagem como uso dos fosfatos naturais e ausência de calagem

com uso de superfosfato triplo respectivamente, Quadros 18, 19, 21, 24 e 27). Situação semelhante foi observada por Brasil & Muraoka, (1997).

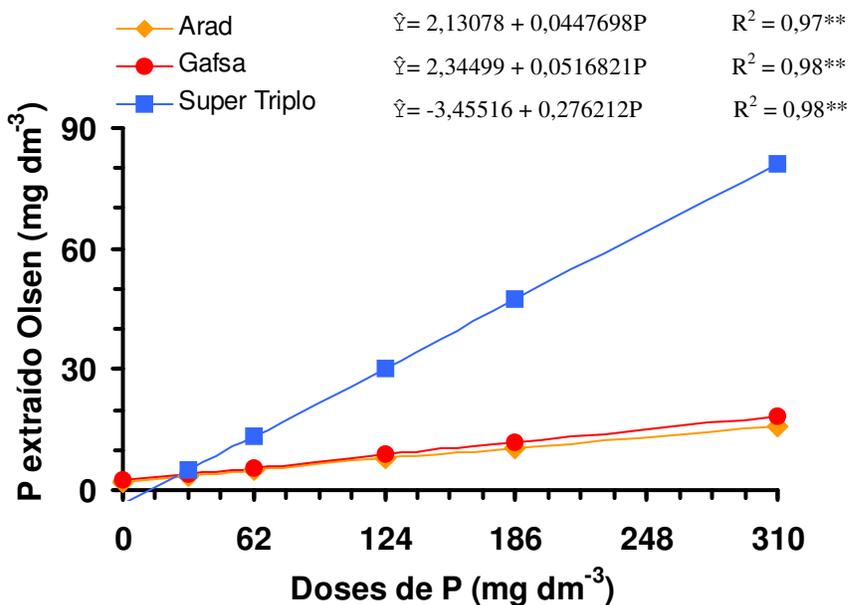


Figura 16. Extração de fósforo pelo extrator Olsen, em função de doses de fósforo de diferentes fontes, no Latossolo Vermelho distrófico, na ausência de calagem.

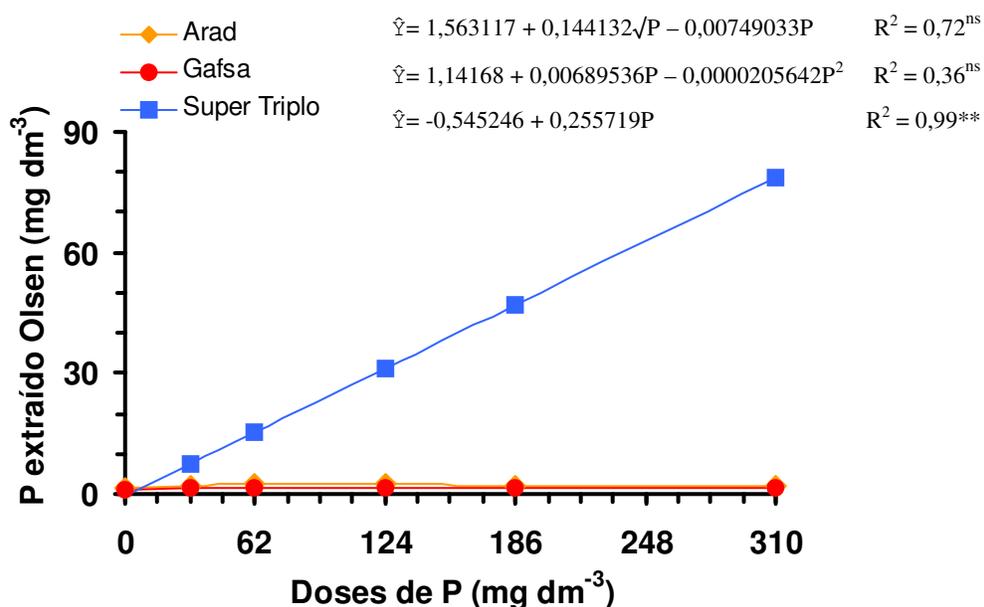


Figura 17. Extração de fósforo pelo extrator Olsen, em função de doses de fósforo de diferentes fontes, no Latossolo Vermelho distrófico, na presença de calagem.

Quadro 40. Valores médios da extração de fósforo pelo extrator Mehlich-1 para fontes de fertilizantes fosfatados, no Latossolo Vermelho distrófico, na ausência e presença de calagem, após a colheita das plantas.

Calagem	Extração de fósforo pelo método Mehlich-1 (mg dm^{-3})			Média de calagem
	Arad	Gafsa	S. Triplo	
Ausência	32,99 aA	27,49 bA	29,77 abA	30,08 A
Presença	30,26 aA	24,23 bA	30,57 aA	28,35 A
Média de Fosfatos	31,63 a	25,86 a	30,17 a	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem significativamente a 5% de probabilidade pelos testes de Duncan e t ($t^2 = F$), respectivamente.

Ao estudar o efeito da calagem e das fontes, para as quantidades de fósforo extraídas por Mehlich-1 (Quadro 41), observou-se uma certa proximidade entre as quantidades de fósforo recuperado do solo dentro de cada dose, apesar de se constatar efeito de calagem e de fonte em algumas doses. Esse fato confirma a elevada capacidade de extração fósforo pelo extrator Mehlich-1.

Quadro 41. Valores médios da extração de fósforo pelo extrator Mehlich-1 para doses e fontes de fertilizantes fosfatados, no Latossolo Vermelho distrófico, na ausência e presença de calagem, após a colheita das plantas.

Doses de fósforo (mg dm^{-3})	Calagem	Extração de fósforo pelo método Mehlich-1 (mg dm^{-3})		
		Arad	Gafsa	S. Triplo
0	ausência	2,17 aA	2,17 aA	2,17 aA
	presença	1,68 aB	1,68 aB	1,68 aB
31	ausência	7,31 aA	7,81 aA	7,81 aA
	presença	8,67 aA	6,79 aA	9,02 aA
62	ausência	17,33 aA	15,09 bA	15,64 bA
	presença	14,93 aA	11,65 aB	16,76 aA
124	ausência	29,19 aA	21,77 bA	26,90 aB
	presença	37,97 aA	20,62 aA	35,07 aA
186	ausência	42,84 aA	44,78 aA	40,44 aA
	presença	43,30 aA	37,76 aB	45,65 aA

310	ausência	99,09 aA	73,31 cA	85,66 bA
	presença	75,03 aB	66,88 aA	75,21 aA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem significativamente a 5% de probabilidade pelos testes de Duncan e t ($t^2 = F$), respectivamente.

Nas Figuras 18 e 19 foi possível observar o efeito das doses aplicadas dentro de cada fonte, na ausência e na presença de calagem, onde foram verificados ganhos expressivos, nos valores da extração de fósforo pelo extrator Mehlich-1, conforme o aumento das doses aplicadas.

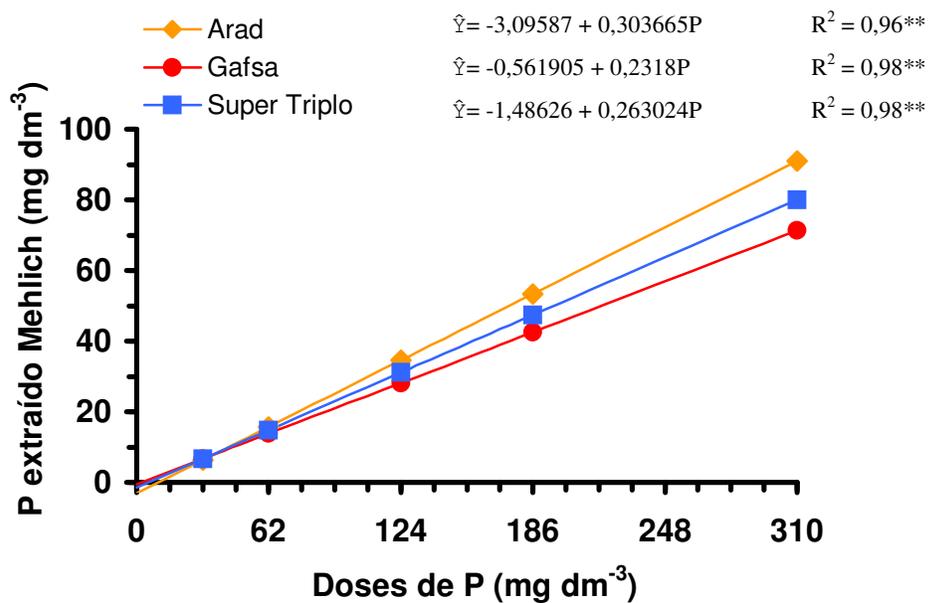


Figura 18. Extração de fósforo pelo extrator Mehlich-1, em função de doses de fósforo de diferentes fontes, no Latossolo Vermelho distrófico, na ausência de calagem.

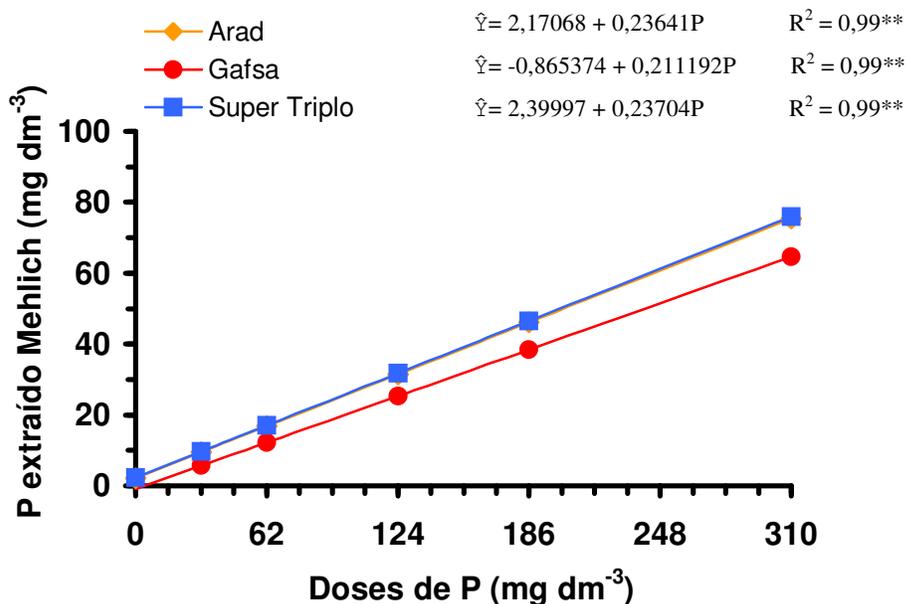


Figura 19. Extração de fósforo pelo extrator Mehlich-1, em função de doses de fósforo de diferentes fontes, no Latossolo Vermelho distrófico, na presença de calagem.

Nas correlações dos valores obtidos na extração de fósforo com os fatores que representam a resposta das plantas (Quadros 42 e 43), verificou-se que em condições de maior acidez (ausência de calagem) o extrator Olsen obteve desempenho semelhante ao extrator Mehlich-1, porém as menores quantidades, extraídas pelo método Olsen, para os tratamentos com uso dos fosfatos naturais (Figura 16), são refletidas na menor resposta biológica das plantas com o uso desses fosfatos, quando comparados ao superfosfato triplo (Quadros 18, 19, 21, 24 e 27).

Na presença de calagem (Quadro 43) o método Olsen não apresentou boa correlação com as variáveis que indicam a resposta biológica das plantas, esse aspecto ocorreu nos tratamentos onde foram utilizados os fosfatos naturais de Arad e de Gafsa.

Na utilização do superfosfato triplo, caracterizado por sua boa solubilidade, ambos os extratores químicos utilizados apresentaram correlações semelhantes com a resposta da planta (Quadros 42 e 43).

Quadro 42. Coeficientes de correlação absoluta de Pearson (r) entre os teores de fósforo no solo, extraídos pelos métodos Olsen e Mehlich-1, e massa seca da parte aérea, altura de plantas, teores de fósforo e fósforo acumulado na massa seca

da parte aérea de plantas de soja, cultivadas no Latossolo Vermelho distrófico, com diferentes fosfatos, na ausência de calagem.

Método	Coeficiente de correlação (r)			
	Massa seca	Altura de plantas	Teor de fósforo	Fósforo acumulado
Fosfato natural de Arad				
Olsen	0,9164**	0,5920**	0,4791*	0,8841**
Mehlich I	0,8525**	0,5619**	0,5785**	0,9150**
Fosfato natural de Gafsa				
Olsen	0,9037**	0,6907**	0,2157 ^{ns}	0,7618**
Mehlich I	0,8998**	0,6076**	0,2155 ^{ns}	0,7542**
Superfosfato triplo				
Olsen	0,5836**	0,4338*	0,9018**	0,8762**
Mehlich I	0,6096**	0,4610*	0,8987**	0,8791**

** = significativo a 1% pelo teste t; * = significativo a 5% pelo teste t; ns = não significativo.

Quadro 43. Coeficientes de correlação absoluta de Pearson (r) entre os teores de fósforo no solo, extraídos pelos métodos Olsen e Mehlich-1, e massa seca da parte aérea, altura de plantas, teores de fósforo e fósforo acumulado na massa seca da parte aérea de plantas de soja, cultivadas no Latossolo Vermelho distrófico, com diferentes fosfatos, na presença de calagem.

Método	Coeficiente de correlação (r)			
	Massa seca	Altura de plantas	Teor de fósforo	Fósforo acumulado
Fosfato natural de Arad				
Olsen	0,0803 ^{ns}	0,3191 ^{ns}	-0,0545 ^{ns}	-0,0385 ^{ns}
Mehlich I	0,6682**	0,4282*	0,4838*	0,6690**
Fosfato natural de Gafsa				
Olsen	-0,2013 ^{ns}	-0,1107 ^{ns}	-0,0076 ^{ns}	-0,0770 ^{ns}
Mehlich I	0,5991**	0,5888**	0,7416**	0,7532**
Superfosfato triplo				
Olsen	0,5159*	0,2317 ^{ns}	0,9183**	0,8892**
Mehlich I	0,5330*	0,2701 ^{ns}	0,9077**	0,8701**

** = significativo a 1% pelo teste t; * = significativo a 5% pelo teste t; ns = não significativo.

Apesar do extrator Mehlich-1 na extração de fósforo no LVd ter obtido boa correlação com os fatores que indicam a resposta biológica das plantas, para as condições

de menor acidez (tratamentos na presença de calagem), pôde-se dizer que este extrator, devido ser composto de uma solução ácida, superestimou os valores de fósforo disponível no solo nos tratamentos com o uso dos fosfatos naturais. Para essa inferência levou-se em consideração a menor resposta das plantas com o uso dos fosfatos naturais, quando comparados ao superfosfato triplo (Quadros 18, 19, 21, 24 e 27) e as quantidades equivalentes de fósforo extraído entre os tratamentos com o superfosfato triplo e os tratamentos com os fosfatos de Arad e de Gafsa (Quadro 40 e Figura 18).

5 CONCLUSÕES

Nas condições em que foi desenvolvido o experimento, os resultados obtidos permitem concluir que:

A utilização dos fosfatos naturais reativos de Arad e de Gafsa resultou em resposta semelhante das plantas de soja, porém inferior a resposta apresentada pelas mesmas quando da utilização de superfosfato triplo.

Para o Latossolo Vermelho distroférico, a calagem prejudicou o desempenho das plantas de soja cultivadas com os diferentes fosfatos, com efeito mais intenso nas plantas cultivadas com os fosfatos de Arad e de Gafsa.

No Latossolo Vermelho distrófico a calagem acarretou em menor disponibilidade de fósforo para as plantas nos tratamentos onde foram utilizados os fosfatos naturais reativos de Arad e de Gafsa e maior disponibilidade de fósforo nos tratamentos com superfosfato triplo.

O extrator Mehlich-1 superestimou a quantidade de fósforo disponível no solo com o uso dos fosfatos de Arad e de Gafsa.

No Latossolo Vermelho distroférico e nas condições de maior acidez (ausência de calagem) do Latossolo Vermelho distrófico, os teores de fósforo extraídos pelos

extratores Olsen e Mehlich-1, correlacionaram de forma semelhante com os fatores que indicaram a resposta biológica das plantas, no entanto, o extrator Olsen não superestimou a quantidade de fósforo disponível no solo com o uso dos fosfatos naturais.

Na condição de menor acidez (presença de calagem) do Latossolo Vermelho distrófico e com o uso dos fosfatos de Arad e de Gafsa, o extrator Olsen não apresentou boa correlação com os fatores que indicaram a resposta biológica das plantas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ V., V.H.; DIAS, L.E.; OLIVEIRA, J.A. **Determinação do P-remanescente para laboratório de rotina (P rem 60)**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 1993. 7p.

BAHIA FILHO, A.F.C. **Índices de disponibilidade de fósforo em latossolos do Planalto Central com diferentes características texturais e mineralógicas**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1982. 178 p. (Tese de Doutorado).

BAHIA FILHO, A. F. C.; BRAGA, J. M.; RIBEIRO, A. C.; NOVAIS, R. F. Sensibilidade de extratores químicos à capacidade tampão de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, p. 243-249, 1983.

BRAGA, N. R.; MASCARENHAS, H. A. A.; BULISANI, E. A.; RAIJ, B. V.; FEITOSA, C. T.; HIROCE, R. Eficiência agrônômica de nove fosfatos em quatro cultivos consecutivos de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, p. 315-319, 1991.

BRASIL, E. C. & MURAOKA, T. Extratores de fósforo em solos da Amazônia tratados com fertilizantes fosfatados.. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, p. 599-606, 1997.

BENNETT, W. F. **Nutrient deficiency and toxicities in crop plant**. St Paul, Minnesota: Aps Press, 1996

CANTARUTTI, R.B.; BRAGA, J.M.; NOVAIS, R.F.; THIÉBAUT, J.T.L. Época de aplicação de fosfato natural em relação à calagem, num solo com elevado teor de alumínio trocável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.5, p. 129-133, 1981.

CARAMORI, T. B. Z. **Acúmulo de fósforo e crescimento de Tanzânia-1 em função de fontes e níveis de fósforo e calagem, em dois Latossolos de Dourados-MS**. Dourados, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. 2000. (Tese de Mestrado).

CATANI, R. A. **Métodos de análise de fertilizantes**. São Paulo: Associação para difusão de adubos. ANDA, 1973. 118p.

COONAB. **Indicadores da Agropecuária**. Quarto levantamento de safra. Ano IX, nº 5. Brasil, 2000.

CORDEIRO, D. S.; POTTKER, D.; BORKERT, C. M.; SFREDO, G. J.; MESQUITA, A. N.; DITTRICH, R. C.; PALHANO, J. B. Efeito de níveis e fontes de fósforo na produção e no rendimento econômico da soja na região de Dourados (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.3, p. 100-105, 1979.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2ª ed. Rio de Janeiro: CNPS/EMBRAPA. 1997. 212 p.

EMBRAPA. Agropecuária do Oeste. **Soja: recomendações técnicas para Mato Grosso do Sul e Mato Grosso** - circular técnica nº 6/2000. Dourados MS: EMBRAPA, 2000.

EUCLYDES, R. F. **Sistemas para análises estatísticas – SAEG. Versão 7.1**. Viçosa: Fundação Arthur Bernardes/UFV, 1997.

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, p. 51-57, 1987.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras MG: UFLA/FAEPE, 1994.

FASSBENDER, H. W. **Química Del suelos: con ênfases em suelos de América Latina**. San José: IICA, 1984. p. 422.

GOEDERT, W. J. & LOBATO, E. Eficiência agronômica de fosfatos em solos de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.15, n 3, p. 311-8, 1980.

GOEDERT, W. J. & SOUSA, D. M. S. de.; LOBATO, E. Fósforo. In: GOEDERT, W. J. **Solos de cerrado: tecnologias e estratégias de manejo**. São Paulo: Nobel, 1987, p. 129-166.

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

GONÇALVES, J.L.M.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L.; RIBEIRO, A.C. Cinética de adsorção de fósforo em solos de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, p. 13-24, 1989.

HOFFMAN, C. R.; FAQUIN, V.; GUEDES, G. A. A.; EVANGELISTA, A. R. O nitrogênio e o fósforo no crescimento da braquiária e do colônio em amostras de um latossolo da região do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, p. 70-86, 1995.

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

LARSEN, S. Soil phosphorus. *Advances in Agronomy*. San Diego, v19, p.151-210, 1967.

LEHR, J. R.; McLELLAN, G. H. **A revised laboratory reactivity scale for evaluating phosphate rock direct application.** Muscle Shoals, Tennessee Saley Authority, 1972. 36 p. (Bulletin, y-43).

LEHR, J. R. Phosphate raw materials and fertilizers: Part-I – A look ahead. In: *KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E. C.; KAMPRATH, E. J. The role of phosphorus in agriculture.* Madison, American Society of Agronomy, 1980.

MAGALHÃES, J. C. A. J. **Aproveitamento do fosfato Patos de Minas pelo trigo (*Triticum aestivum* L.) cv. IAC-5, cultivado em dois solos sob vegetação de cerrado no DF, com dois níveis de calagem.** Piracicaba: ESALQ, 1984. p. 202. (Tese de Doutorado).

MALAVOLTA, E. **ABC da Adubação:** 4^a ed. São Paulo SP: Editora Ceres, 1979.

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

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** London. Academic Press Inc., 1995.

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, p. 237-243, 1985.

NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F. Ensaio em ambiente controlado. In: *OLIVEIRA, A.J.; GARRIDO, W.E.; ARAÚJO, J.D.; LOURENÇO, S. Método de pesquisa em fertilidade do solo.* Brasília: Embrapa-SEA, 1991. p. 189-253.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. **Curso de fertilidade e manejo do solo, módulo 07 – Fósforo**. Brasília: ABEAS, 1993.

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

NOVELINO, J.O.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; COSTA, L.M.; BARROS, N.F. Solubilização de fosfato-de-Araxá, em diferentes tempos de incubação, com amostras de cinco Latossolos, na presença e ausência de calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.9, p. 13-22, 1985.

NOVELINO, J.O. **Disponibilidade de fósforo e sua cinética em solos sob cerrado fertilizados com fósforo, avaliada por diferentes métodos de extração**. Viçosa: UFV, 1999. 70 p. (Tese de Doutorado).

OLSEN, S.R.; SOMMERS, L.E. Phosphorus. In: *PAGE, A. L.; MILLER, R.H.; KEENEY, D. R. Methods of soil analysis. Part. 2 – Chemical and microbiological properties*. 2nd ed. Madison, American Society of Agronomy, 1982. p.403-430.

PARFITT, R. L. **Anion adsorption by soils materials**. Adv. Agron., v. 30, 1978

RAIJ, B. V. Seleção de métodos de laboratório para avaliar a disponibilidade de fósforo em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.2, p. 1 - 9, 1978.

RAIJ, B. V.; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 31p. (Boletim Técnico, 81).

RAIJ, B. V. **Fertilidade de solo e adubação**. Piracicaba: Editora Ceres, POTAFÓS, 1991.

SÁ, J. C. M. Manejo de Fósforo no Sistema Plantio Direto. In: *Seminário Internacional do Sistema Plantio Direto*. 1. Passo Fundo, 1985. **Resumos...** PassoFundo, EMBRAPA-CNPT, 1995. p.83-94.

SANZONOWICZ, C.; LOBATO, E.; GOEDERT, W. J. Efeito residual da calagem e de fontes de fósforo numa pastagem estabelecida de solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 3, p. 233-243, 1987.

SILVA, W. M. **Avaliação de extratores de fósforo disponível em dois Latossolos do Mato Grosso do Sul**. Dourados, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. 1997. (Tese de Mestrado).

THOMAS, G. W.; PEASLEE, D. E. Testing soils for phosphorus. In. *WALSH, L. W.; BEATON, J. D.*, ed. **Soil testing and plant analysis**. Madison, SSSA, 1973. p. 115-132

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, D. M. **Soil Fertily and Fertilizers**. New York, 4^a ed., 1984. p.146-161.

