

**ADUBAÇÃO FOSFATADA, FRAÇÕES DE
FÓSFORO E RESPOSTA DO FEIJOEIRO, EM
LATOSSOLOS DE CERRADO, COM
DIFERENTES TEXTURA, MINERALOGIA E
HISTÓRICO DE USO**

JOSÉ ZILTON LOPES SANTOS

2008

JOSÉ ZILTON LOPES SANTOS

**ADUBAÇÃO FOSFATADA, FRAÇÕES DE FÓSFORO E RESPOSTA DO
FEIJOEIRO, EM LATOSSOLOS DE CERRADO, COM DIFERENTES
TEXTURA, MINERALOGIA E HISTÓRICO DE USO**

Tese apresentada à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do Programa
de Pós-Graduação em Ciência do solo, para a
obtenção do título de "Doutor".

Orientador

Prof. Dr. Antonio Eduardo Furtini Neto

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2008

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

Santos, José Zilton Lopes.

Adubação fosfatada, frações de fósforo e resposta do feijoeiro, em latossolos de cerrado, com diferentes textura, mineralogia e histórico de uso / José Zilton Lopes Santos. -- Lavras : UFLA, 2008.

87 p. : il.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2008.

Orientador: Antonio Eduardo Furtini Neto.

Bibliografia.

1. Fertilidade do solo. 2. Fração de fósforo. 3. Phaseolus vulgaris. 4. Eficiência nutricional. 5. Cerrado. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 635.652895

JOSÉ ZILTON LOPES SANTOS

**ADUBAÇÃO FOSFATADA, FRAÇÕES DE FÓSFORO E RESPOSTA DO
FEIJOEIRO, EM LATOSSOLOS DE CERRADO, COM DIFERENTES
TEXTURA, MINERALOGIA E HISTÓRICO DE USO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, para a obtenção do título de "Doutor".

APROVADA em 8 de julho de 2008

Dr. Álvaro Vilela de Resende	Embrapa Cerrados
Prof. Dr. Ruy Carvalho	UFLA
Prof. Dr. Nilton Curi	UFLA
Prof. Dr. Valdemar Faquin	UFLA

Prof. Dr. Antonio Eduardo Furtini Neto
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

A Deus, por estar sempre ao meu lado, principalmente nos momentos mais difíceis durante esta caminhada,

OFEREÇO.

Ao meu pai, Zeila e minha mãe, Zelina, pelo apoio e exemplo de vida.

Aos meus irmãos Gilson, Solange, Zilma, Anaene, Josélio e Lauana, pela força e incentivo.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras, em especial ao Departamento de Ciência do Solo, pela oportunidade e apoio concedidos à realização do curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudos.

Aos proprietários da Fazenda Alto Alegre, em Planaltina de Goiás (Go), pelo apoio oferecido por ocasião da coleta dos solos.

Ao professor Dr. Antonio Eduardo Furtini Neto, e ao pesquisador Dr. Álvaro Vilela de Resende, pela amizade, orientação, companheirismo e, acima de tudo, pelos ensinamentos, tanto na vida profissional quanto pessoal.

Aos demais professores, que acreditaram e dedicaram o seu tempo, contribuindo para a minha formação.

Aos membros da banca, pela participação, críticas e sugestões, aprimorando este trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, pelo apoio e ajuda indispensáveis à realização do trabalho.

Aos colegas de pós-graduação, pelo convívio, compreensão, alegrias nos bons momentos e “força” nos momentos difíceis.

Aos alunos de iniciação científica Marcos, Vinícius, Bruno e Lucas, entre outros, pela indispensável ajuda na condução do experimento e nas análises laboratoriais.

A sociedade brasileira, que financiou meus estudos até o doutorado, meu voto de compromisso.

Muito Obrigado.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	i
LISTA DE FIGURAS.....	iii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT	vi
CAPÍTULO 1.....	1
1 Introdução geral	1
2 Referências bibliográficas.....	8
CAPÍTULO 2 Frações de fósforo em solos de cerrado em função da mineralogia, do histórico de uso e da adubação fosfatada.....	11
1 Resumo	11
2 Abstract.....	13
3 Introdução	14
4 Material e métodos.....	15
5 Resultados e discussão.....	20
5.1 Frações inorgânicas de fósforo	21
5.2 Frações orgânicas de fósforo	26
5.3 Fósforo inorgânico, orgânico e total recuperado	29
5.4 Disponibilidade de fósforo.....	32
6 Conclusões.....	40
7 Referencias bibliográficas.....	42
CAPÍTULO 3 Resposta do feijoeiro à adubação fosfatada em solos de cerrado com diferentes históricos de uso.....	47
1 Resumo	47
2 Abstract.....	49
3 Introdução	50

4 Material e métodos.....	52
5 Resultados e discussão.....	56
5.1 Crescimento e absorção de fósforo	56
5.2 Teor de fósforo no florescimento e produção de grãos.....	60
5.3 Eficiência de absorção e de utilização de fósforo	63
6 Conclusões.....	68
7 Referências bibliográficas.....	70
8 Considerações finais	74
9 Anexos	76

LISTA DE TABELAS

Capítulo 2

Tabela	Página
1 Atributos químicos, físicos e mineralógicos dos solos (0-20 cm de profundidade), antes da aplicação dos tratamentos.....	17
2 Fósforo inorgânico (Pi), fósforo orgânico (Po) e fósforo total recuperado (P total Bowman) no solo LVd1, proveniente de área cultivada com grãos (C) e não cultivada (NC) e após cultivo em casa de vegetação com feijoeiro sob diferentes doses de P.....	22
3 Fósforo inorgânico (Pi), fósforo orgânico (Po) e fósforo total recuperado (P total Bowman) no solo LVd2 proveniente de área cultivada com pastagem (C) e não cultivada (NC) e após cultivo em casa de vegetação com feijoeiro sob diferentes doses de P.....	23
4 Fósforo inorgânico (Pi), fósforo orgânico (Po) e fósforo total recuperado (P total Bowman) no solo LVAd1, proveniente de áreas cultivada com grãos (C) e não cultivada (NC) e após cultivo em casa de vegetação com feijoeiro sob diferentes doses de P.....	24
5 Fósforo inorgânico (Pi), fósforo orgânico (Po) e fósforo total recuperado (P total Bowman) no solo LVAd2, proveniente de áreas cultivada com pastagem (C) e não cultivada (NC) e após cultivo em casa de vegetação com feijoeiro sob diferentes doses de P.....	25
6 Fósforo disponível pelos métodos resina de troca iônica (P-resina), Mehlich-1 (P-Mehlich) e frações de fósforo lábil (P-lábil) e pouco lábil (P-pouco lábil) no solo LVd1, proveniente de áreas cultivada com grãos (C) e não cultivada (NC) e após cultivo em casa de vegetação com feijoeiro sob diferentes doses de P.....	35
7 Fósforo disponível pelos métodos resina de troca iônica (P-resina), Mehlich-1 (P-Mehlich) e frações de fósforo lábil (P-lábil) e pouco lábil (P-pouco lábil) no solo LVd2, proveniente de áreas cultivada com pastagem (C) e não cultivada (NC) e após cultivo em casa de vegetação com feijoeiro sob diferentes doses de P.....	36

8	Fósforo disponível pelos métodos resina de troca iônica (P-resina), Mehlich-1 (P-Mehlich) e frações de fósforo lábil (P-lábil) e pouco lábil (P-pouco lábil) no solo LVAd1, proveniente de áreas cultivada com grãos (C) e não cultivada (NC) e após cultivo em casa de vegetação com feijoeiro sob diferentes doses de P.....	37
9	Fósforo disponível pelos métodos resina de troca iônica (P-resina), Mehlich-1 (P-Mehlich) e frações de fósforo lábil (P-lábil) e pouco lábil (P-pouco lábil) no solo LVAd2, proveniente de áreas cultivada com pastagem (C) e não cultivada (NC) e após cultivo em casa de vegetação com feijoeiro sob diferentes doses de P.....	38

Capítulo 3

Tabela	Página	
1	Principais atributos químicos, físicos e mineralógicos dos solos utilizados no experimento, antes da aplicação dos tratamentos.....	54
2	Coefficientes de correlação entre as diversas formas de P com a produção de matéria seca da parte aérea no florescimento (MSPA), conteúdo de fósforo na parte aérea no florescimento (CPPA) e produção de grãos (GRÃOS), nos solos estudados, na condição não cultivada e cultivada.....	67

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 2

Figura	Página
1 Fluxograma operacional de algumas frações de fósforo, conforme Hedley et al. (1982).....	20

Capítulo 3

Figura	Página
1 Matéria seca da parte aérea no final do ciclo (MSPA) em função das doses de fósforo nos solos LVd1 (A), LVd2 (B), LVAd1 (C) e LVAd2 (D), na condição não cultivado (NC) e cultivado (C).....	57
2 Conteúdo de fósforo na parte aérea no florescimento (CPPA) em função das doses de fósforo nos solos LVd1(A), LVd2 (B), LVAd1 (C) e LVAd2 (D), na condição não cultivado (NC) e cultivado (C).....	59
3 Teor de fósforo na matéria seca da planta no florescimento (Teor de P) em função das doses de fósforo nos solos LVd1 (A), LVd2 (B), LVAd1 (C) e LVAd2 (D), na condição não cultivado (NC) e cultivado (C).....	61
4 Produção de grãos (Grãos) em função das doses de fósforo nos solos LVd1 (A), LVd2 (B), LVAd1 (C) e LVAd2 (D), na condição não cultivado (NC) e cultivado (C).....	62
5 Eficiência de absorção de fósforo (EAP) em função das doses de fósforo nos solos LVd1 (A), LVd2 (B), LVAd1 (C) e LVAd2 (D), na condição não cultivado (NC) e cultivado (C).....	63
6 Eficiência de utilização de fósforo (EUP) para produção de grãos em função das doses de fósforo nos solos LVd1 (A), LVd2 (B), LVAd1 (C) e LVAd2 (D), na condição não cultivado (NC) e cultivado (C).....	65

RESUMO

SANTOS, José Zilton Lopes. **Adubação fosfatada, frações de fósforo e resposta do feijoeiro, em Latossolos de cerrado, com diferentes textura, mineralogia e histórico de uso.** 2008. 87p. Tese (Doutorado em Ciência do solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. *

O histórico de uso, a textura, manejo e mineralogia do solo podem modificar a dinâmica das formas de P no solo, interferindo na disponibilidade deste nutriente para as plantas. No presente trabalho, avaliou-se a influência do histórico de uso, da mineralogia, da adubação fosfatada e do cultivo com feijão nas formas de P, além da resposta do feijoeiro à adubação fosfatada, em quatro Latossolos de Cerrado. Os solos foram coletados na profundidade de 0-20 cm, em áreas cultivadas por longos períodos, com calagem e adubações fosfatadas periódicas e, também, em áreas adjacentes não cultivadas (cerrado nativo). Experimentos foram realizados em casa de vegetação, dispostos em delineamento inteiramente casualizado, arranjados em esquema fatorial 2 x 4 (dois históricos de uso – cultivado e não cultivado e quatro doses de P, equivalentes a 0, 120, 240 e 480 mg dm⁻³), com quatro repetições. O fornecimento de P, na forma de superfosfato triplo, foi feito com base no teor de P₂O₅ total da fonte. As frações lábeis e pouco lábeis foram determinadas em todas as amostras dos solos das unidades experimentais, antes e após o cultivo do feijão, utilizando o método de Hedley et al. (1982), além do P total pelo método de Bowman (1989). O histórico de uso, a mineralogia e a textura afetam de maneira variável a distribuição das frações de P no solo, sendo que a adubação fosfatada promoveu incrementos na maioria das frações inorgânicas e orgânicas estudadas. A textura menos argilosa e o caráter menos oxidado dos solos contribui para uma maior preservação do P adicionado em formas mais lábeis, havendo maior presença do compartimento orgânico lábil, quando estes solos não foram adubados anteriormente. A participação do compartimento orgânico de P, comparativamente ao inorgânico, é mais expressiva, para os solos com maior teor de argila; para os solos menos argilosos o comportamento destes compartimentos é bastante dependente do histórico de uso e da dose fornecida. A condição de solo já cultivado anteriormente potencializou a resposta do feijoeiro à adubação, sobretudo na menor dose de P. Nessa condição, houve uma melhor absorção pelas plantas e uma maior proporção do P fornecido foi incorporado ao componente vegetal. Em se

* Comitê Orientador: Antonio Eduardo Furtini Neto - UFLA (Orientador); Nilton Curi - UFLA; Valdemar Faquin - UFLA; Ruy Carvalho - UFLA; Álvaro Vilela de Resende - Embrapa Cerrados.

tratando da primeira adubação, a eficiência de utilização de P aumentou intensamente com as doses do nutriente, nas amostras não cultivadas, o que não ocorreu nos solos já adubados.

ABSTRACT

SANTOS, José Zilton Lopes. **Phosphate fertilization, phosphorus fractions, and beans plant response in Cerrado Latossols with several textures, mineralogy, and usage historic.** 2008. 87p. Thesis (Doctor in Soil Science) – Lavras Federal University, Lavras, MG.*

Former soil use, soil texture, soil management and mineralogy can influence upon the dynamics of P forms in the soil, thus interfering in its availability for plants. This work was carried out with objective of evaluating the influence of soil usage historic, mineralogy, phosphate fertilization, and beans cultivation as well as beans plants response to phosphate fertilization in four cerrado Latossols. Soil samples were collected at 0-20 cm depth from both areas cultivated with liming and periodic phosphate fertilization for long periods of time and surrounding uncultivated areas (native Cerrado). Experiments were carried out in greenhouse. A randomized-block design in a 2 x 4 factorial arrangement (two usage historic – cultivated and uncultivated, and four P doses: 0, 120, 240, and 480 mg dm⁻³) with four replication was used. P in the form of triple superphosphate was supplied on total P₂O₅ content basis of the source. Both labile and little labile fractions were determined both before and after beans being cropped for all soil samples collected from the plots by using the Hedley et al. method (1982). The total P was determined by the Bowman method (1989). The usage historic, the mineralogy, and soil texture were found to influence upon the P fractions distribution in the soil in different ways. The phosphate fertilization increased most of the organic and inorganic fractions studied. Less clayey texture as well as less oxidic character of the soil increase the preservation of P applied in more labile forms. When the soils were not formerly fertilized a higher P organic labile compartment could be noticed. Compared to the inorganic, the P organic compartment is more enhanced in the soils with higher clay content. For the less clayey ones, such compartments show a depending behavior on both its usage historic and the dose supplied. As to the beans plants response to fertilization, it was favored when they were cultivated in formerly fertilized soils, specially when a lower dose of P was supplied. On such condition a better P absorption by the plants was noticed and a higher rate of supplied P was accumulated in the vegetal component. Because

* Guidance Committee: Antonio Eduardo Furtini Neto – UFLA (Adviser); Nilton Curi – UFLA; Valdemar Faquin – UFLA; Ruy Carvalho – UFLA; Álvaro Vilela de Resende – Embrapa Cerrados.

it was the first fertilization P use effectiveness increased drastically as the doses supplied to uncultivated soils increased. In formerly fertilized soils, this behavior was not verified.

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO GERAL

Existe uma forte relação entre fertilidade do solo e produtividade das plantas, mantidos os demais fatores de produção em níveis não limitantes. Para o fósforo (P), este comportamento não é exceção. As plantas têm seu crescimento diretamente dependente da concentração deste nutriente na solução do solo, de modo que as limitações na disponibilidade de P, no início do ciclo vegetativo, podem resultar em restrições no desenvolvimento das quais, a planta não se recupera posteriormente, mesmo aumentando o suprimento de P a níveis adequados (Grant et al., 2001). Segundo Sanchez & Salinas (1983), o baixo teor de P disponível no solo é o que mais limita nutricionalmente a produção agrícola em solos tropicais, sendo que a maioria das culturas no Brasil apresenta resposta à aplicação do nutriente (Oliveira et al., 1982). No entanto, o P apresenta uma dinâmica complexa no solo.

Devido às condições de intenso intemperismo apresentado pelos solos nas regiões tropicais, como é o caso do Cerrado, há uma reduzida fração de P biodisponível, que muitas vezes, está abaixo das exigências mínimas das culturas comerciais. Essa característica está associada à alta capacidade que esses solos têm em reter o P na fase sólida, na forma de compostos de baixa solubilidade (Sousa et al., 2004). Essa retenção se deve, principalmente, à grande afinidade entre o fósforo e outros três elementos químicos do solo: ferro (Fe), alumínio (Al) e cálcio (Ca). Segundo Raij (2004), os solos brasileiros são ricos principalmente em óxidos hidratados de ferro e alumínio, que com a caulinita, perfazem a maior parte da composição mineralógica da fração argila do solo, a parte mais ativa e na qual ocorrem as reações do P com estes compostos. Dessa maneira, são grandes as quantidades de fósforo a serem

aplicadas para manter uma disponibilidade adequada do nutriente às plantas cultivadas, aumentando muito o custo da exploração comercial desses solos.

Em termos globais, mais de 75% do P aplicado ao solo é perdido ou fica retido nas partículas do solo, o que contribui para o acúmulo deste elemento nos solos cultivados (Siqueira et al., 2004). Essa perda de fosfato, para a fase sólida, pode ocorrer tanto pela adsorção do P às partículas de oxidróxidos de Fe e Al, quanto pela precipitação do P com Fe, Al ou Ca (Iyamuremye & Dick, 1996). Segundo Bohn et al. (1979), a reação de precipitação pode ser lenta e levar anos para ocorrer completamente, sendo bastante influenciada pelo pH. Em relação à adsorção, esse mecanismo é cineticamente muito rápido, ocorrendo dentro de poucos dias.

Quando adubos fosfatados são adicionados ao solo, assim que ocorre a dissolução da fonte, o P passa para a solução do solo. Esta solubilidade será maior ou menor, dependendo de certas condições, tais como a capacidade de reação da fonte com o solo. Após a dissolução, a maior parte do P é retida na fase sólida, formando compostos menos solúveis (Sousa et al., 2004). No entanto, quando se aumenta o P-solução pela aplicação de fontes minerais ou orgânicas, ocorre um desequilíbrio entre o P-solução e o P-fase sólida e, com isso, passará a haver um aumento da adsorção, isto é, há formação do P lábil e/ou aumento da difusão, que é o transporte de P em direção à raiz da planta, sendo que quanto maior o P-solução, maior será o processo de adsorção e difusão (Novais & Smyth, 1999). De acordo com esses autores, nos solos tropicais o processo de adsorção é o principal responsável pela redução do P-solução em relação à difusão.

São vários os fatores que interferem na disponibilidade de P para as plantas e, conseqüentemente, na eficiência da adubação fosfatada. A abordagem desses fatores deve considerar as reações do P, no sistema solo-planta, uma vez

que a planta absorve P da solução do solo e a fase sólida passa a ser a fonte potencial desse nutriente (Novais & Smyth, 1999).

Dentre esses fatores, há aqueles ligados diretamente ao solo, como o pH, que de forma geral afeta a solubilidade dos minerais, as formas dominantes dos íons em solução, as reações de adsorção-dessorção e a atividade microbiana, que é responsável pela decomposição dos compostos orgânicos (Anghinoni, 2004; Sato & Comerford, 2005). Outro fator químico bastante importante para os solos tropicais é o conteúdo de alumínio trocável, onde a correção da acidez do solo irá provocar a redução de sua atividade, levando a menor fixação ou precipitação de P por este metal e, assim, promovendo uma maior eficiência do P aplicado na forma de fertilizante. Por outro lado, os fatores físicos apresentam um importante papel na disponibilidade do P, pois, de modo geral, solos que apresentam maiores teores de argila mostram um maior potencial de fixação deste elemento e, conseqüentemente, a diminuição da sua disponibilidade para as plantas, principalmente quando essa argila é rica em óxidos de ferro e alumínio (Novais & Smyth, 1999). Segundo Motta et al. (2002), em solos deficientes em P e com grande quantidade de argilominerais e óxidos, a adsorção de P é maior e, para o atendimento da exigência das culturas, são exigidos níveis de adubação fosfatada mais elevados do que em solos arenosos. Outro importante componente do solo, que afeta a disponibilidade de P para as plantas é a matéria orgânica e esse efeito se dá, principalmente, através da maior dificuldade de contato dos íons ortofosfatos com os sítios de fixação. Esse processo se dá pelo recobrimento desses sítios pelos radicais orgânicos, formação de complexos organofosforados, os quais são mais facilmente absorvidos pelas plantas, e substituição de íons fosfatos por íons orgânicos nos sítios de adsorção (Sá, 2004). A eficiência agronômica das fontes, também interfere no fornecimento de P as plantas e essa interferência está relacionada à composição química, granulometria e solubilidade da mesma, de modo que

quanto maior a solubilidade da fonte mais rápida deve ser a influência da difusão do P no processo de absorção pelas plantas, como também a adsorção pelas partículas do solo (Sousa et al., 2004; Prochnow et al., 2004).

A forma de aplicação da adubação fosfatada, juntamente com o sistema de cultivo, também são fatores que vão reger uma maior ou menor disponibilidade de P para as plantas. As formas de aplicação, que reduzem o contato dos íons ortofosfatos com os pontos de retenção de P nas partículas do solo, minimizam a fixação do P e, conseqüentemente, aumentam os efeitos imediatos e residuais das fontes de média e alta solubilidade (Prochnow et al., 2004). Segundo Rheinheimer (2000), no sistema de cultivo que permite um maior contato entre o íon fosfato com as partículas do solo, há um acúmulo de P, preferencialmente na forma inorgânica, especialmente nas frações moderadamente lábeis. No entanto, em solos com menores teores de argila e de óxidos de ferro, com o cultivo em semeadura direta e com a utilização de plantas com alta adição de biomassa, pode também ocorrer o acúmulo de P no compartimento biológico (Rheinheimer & Anghinoni, 2003). Nos solos tropicais, especialmente solos de cerrado, onde o P disponível é muito baixo, torna-se necessário a otimização do seu uso, para que se tenha uma agricultura economicamente rentável e sustentável ao longo dos anos.

Por outro lado, as plantas também diferem quanto a sua capacidade de se desenvolverem em função dos teores de P (Bhadoria et al., 2002), constituindo-se dessa forma num importante fator que rege a disponibilidade de P no solo. Segundo Lynch & Beem (1993), a adaptação genotípica à baixa disponibilidade de P está associada ao crescimento e à arquitetura radicular sob estresse de P, em conjunto com caracteres radiculares, que são expressos na ausência de estresse. Em resposta aos baixos níveis de P disponível na rizosfera, as plantas têm desenvolvido mecanismos fisiológicos e bioquímicos altamente especializados para adquirir e utilizar o P.

Em relação ao feijoeiro, o mesmo foi considerado por Föhse et al. (1988) como sendo pouco eficiente na absorção de P, devido à pequena razão raiz: parte aérea, baixo influxo e requerimento de P para a produção de biomassa. A recuperação do P, pela planta de feijão, em solos de cerrado é menor que 10% (Fageria et al., 2003). No entanto, esse nutriente tem proporcionado as maiores e mais frequentes respostas e, sua baixa disponibilidade no solo afeta negativamente o crescimento e produção do feijoeiro (Pastorini et al., 2000).

Uma melhor compreensão das reações posteriores à aplicação do fertilizante fosfatado no solo, obtendo-se o P disponível às plantas e o conhecimento das necessidades nutricionais destas, ambos em função do tempo, levariam a uma estimativa mais apropriada do manejo do solo quanto à adubação (Prochnow et al., 2004). Nesse sentido, a análise do solo é o principal veículo de transferência de informações geradas pela pesquisa aos produtores. No entanto, os métodos de análise de rotina do solo podem algumas vezes extrair parte do P não lábil, dependendo da propriedade de cada extrator e da condição de extração (Novais & Smyth, 1999) e, muitas vezes, não há uma boa correlação entre o P disponível e o rendimento da planta. Além das particularidades de cada extrator, segundo Rheinheimer (2000), a forma de P que predomina no solo pode ser alterada, em função do sistema de cultivo, de modo que, no sistema de cultivo convencional, a forma predominante de acúmulo é a inorgânica, especialmente nas frações moderadamente lábeis. No entanto, em solos com menores teores de argila e de óxidos de ferro, com o cultivo em semeadura direta e com a utilização de plantas com alta adição de biomassa, pode também ocorrer o acúmulo de P no compartimento biológico (Rheinheimer & Anghinoni, 2003), incluindo a necessidade do conhecimento das formas de P, bem como o entendimento da dinâmica das mesmas nesses sistemas de cultivo.

Outra maneira de caracterizar o P no solo é mediante a determinação das “formas de fósforo”, através do fracionamento. Existem diversas metodologias para determinar as formas de P no solo, entre as quais estão as de Bowman (1989), que determina o P inorgânico e orgânico total do solo e Hedley et al. (1982), que permite quantificar frações inorgânicas e orgânicas de P no solo. Esta última, baseia-se na extração seqüencial de formas lábeis, pouco lábeis e não lábeis, por meio da qual, formas inorgânicas e orgânicas são separadas, conforme sua disponibilidade às plantas.

A vantagem do fracionamento é a obtenção de informações sobre a disponibilidade de P, em curto e longo prazo, por meio da determinação dos valores das frações de P, de vários graus de disponibilidade para as plantas (Silva et al., 2003). Pode, também, ser empregado para acompanhar modificações nas formas de P, em decorrência de processos no solo (Araújo & Salcedo, 1997), além de permitir determinar o compartimento orgânico, que pode representar parte considerável do P total e em diferentes graus de disponibilidade para as plantas, principalmente, em sistemas de cultivos mínimos. Além disso, pode também ser utilizada para avaliar a sustentabilidade da produtividade agrícola desses sistemas (Novais & Smyth, 1999).

De acordo com Rheinheimer (2000), a capacidade preditiva dos métodos de análise poderia ser melhorada, combinando-se os resultados obtidos pelo método usual à estimativa do fósforo potencialmente disponível ou aquelas formas que o tamponam. Segundo Abekoe & Sahrawat (2003), os extratores de rotina utilizados para determinar o P disponível às plantas, não medem os compartimentos inorgânicos menos disponível e o P orgânico. No entanto, estas frações têm se mostrado como tampão do P disponível no solo, podendo estes compartimentos atuar, significativamente, na reposição dos teores da solução do solo, quando da absorção pelas plantas (Gatiboni et al., 2005).

Buscando compreender como a disponibilidade de fósforo é influenciada pelo histórico de uso e manejo do solo e como isso pode implicar no manejo de adubações fosfatadas futuras, este estudo teve como objetivos: (a) quantificar as frações inorgânicas e orgânicas de fósforo, bem como avaliar a sua dinâmica e a disponibilidade de P, em Latossolos da região do cerrado, em função de sua mineralogia, do seu histórico de uso e da adubação fosfatada; (b) avaliar, em casa de vegetação, a resposta do feijoeiro a doses de fósforo em Latossolos de cerrado distintos quanto a mineralogia, textura e histórico de uso.

2 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEKOE, M.K.; SAHRAWAT, K.L. Long-term cropping effect on phosphorus fractions in an Ultisol of the humid forest zone in west Africa. **Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 34, n. 3/4, p. 427-437, Mar. 2003.

ANGHINONI, I. Fatores que interferem na eficiência da adubação fosfatada. In: YAMADA, T.; ABDALA, S.R.S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 537-558.

ARAÚJO, M.S.; SALCEDO, I.H. Formas preferenciais de acumulação de fósforo em solos cultivados com cana-de-açúcar na região nordeste. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 643-650, 1997.

BHADORIA, P.S.; STEINGROBE, B.; CLAASSEN, N.; LIEBERSBACH, H. Phosphorus efficiency of wheat and sugar beet seedlings grown in soils with mainly calcium, or iron and aluminum phosphate. **Plant and Soil**, Crawley, v. 246, n. 1, p. 41-52, Sept. 2002.

BOHN, H.L.; MCNEAL, B.L.; O'CONNOR, G.A. **Soil chemistry**. New York: Wiley, 1979. 329 p.

BOWMAN, R.A. A sequential extraction procedure with concentrated sulfuric acid and dilute base for soil organic phosphorus. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 53, n. 2, p. 362-366, Mar. 1989.

FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P.; STONE, L.F. Nutrição de fósforo na produção de feijão. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2003, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Potafos/Anda, 2003. 1 CD-ROM.

FÖHSE, D.; CLAASSEN, N.; JUNGK, A. Phosphorus efficiency of plants. I. External and internal P requirement and P uptake efficiency of different plant species. **Plant Soil**, Crawley, v. 110, n. 1, p. 101-109, 1988.

GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J.; SANTOS, D. R. Modificações nas formas de fósforo do solo após extrações sucessivas com mehlich-1, mehlich-3 e resina trocadora de ânions. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 363-371, 2005.

GRANT, C.A.; FLATEN, D.N.; TOMASIEWICZ, D.J.; SHEPPAR, S.C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agronômicas**, n. 95, set. 2001. Disponível em: <www.potafos.org>. Acesso em: 18 jun. 2008.

HEDLEY, M.J.; STEWARD, W.B.; CHAUHAN, B.S. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fraction induced by cultivation practices and laboratory incubation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 46, n. 5, p. 970-976, Sept./Oct. 1982.

IYAMUREMY, F.; DICK, R.P. Organic amendments and phosphorus sorption bi soils. **Advances in Agronomy**, Newark, v. 56, p. 139-185, 1996.

LINCH, J.; BEEM, J.J. van. Growth and architecture of seedling roots of common bean genotypes. **Crop Science**, Madison, v. 33, n. 6, p. 1253-1257, Nov./Dec. 1993.

MOTTA, P.E.F.; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O.; RAIJ, B.V.; FURTINI NETO, A.E.; LIMA, J.M. Adorção e formas de fósforo em Latossolos: influência da mineralogia e histórico de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 349-359, 2002.

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

OLIVEIRA, A.J.; LOURENÇO, S.; GOEDERT, W.J. **Adubação fosfatada no Brasil**. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1982. 326 p.

PASTORINI, L.H.; BACARIN, M.A.; LOPES, N.F.; LIMA, M.G.S. Crescimento inicial de feijoeiro submetido a diferentes doses de fósforo em solução nutritiva. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 47, n. 270, p. 219-228, 2000.

PROCHNOW, L.I.; ALCARDE, J.C.; CHIEN, S.H. Eficiência agronômica dos fosfatos totalmente acidulados. In: YAMADA, T.; ABDALA, S.R.S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 605-651.

RAIJ, B. van. Fósforo no solo e interação com outros elementos. In: YAMADA, T.; ABDALA, S.R.S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 107-114.

RHEINHEIMER, D.S. **Dinâmica do fósforo em sistemas de manejo de solos**. 2000. 211 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

RHEINHEIMER, D.S. dos; ANGHINONI, I. Accumulation of soil organic phosphorus by soil Tillage and cropping systems under subtropical conditions. **Soil Science and Plant Analysis**, v. 35, n. 15, p. 2339-2354, 2003.

SÁ, J.C.M. de. Adubação fosfatada no sistema plantio direto. In: YAMADA, T.; ABDALA, S.R.S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 201-220.

SANCHEZ, P.A.; SALINAS, J.G. **Suelos ácidos: estrategias para su manejo com bajos insumos in America Tropical**. Bogotá: Sociedade Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1983. 93 p.

SATO, S.; COMERFORD, N. B. Influence of soil ph on inorganic phosphorus sorption and desorption in a humid brazilian ultisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 685-694, set./out. 2005.

SILVA, M.A. da; NÓBREGA, J.C.A.; CÚRI, N.; SIQUEIRA, J.O.; SÁ, J.J.G. de; MARQUES, M.; MOTTA, P.E.F. Frações de fósforo em latossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 10, p. 1197-1207, out. 2003.

SIQUEIRA, J.O.; ANDRADE, A.T.; FAQUIN, V. O papel dos microrganismos na disponibilização e aquisição de fósforo pelas plantas. In: YAMADA, T.; ABDALA, S.R.S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 117-149.

SOUSA, D. M.G. de; LOBATO, E.; REIN, A.T. Adubação fosfatada. In: SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Cerrados, 2004. p. 147-168.

CAPÍTULO 2

1 RESUMO

SANTOS, José Zilton Lopes. Frações de fósforo em solos de cerrado em função da mineralogia, histórico de uso e da adubação fosfatada. In: _____. **Adubação fosfatada, frações de fósforo e resposta do feijoeiro em Latossolos de cerrado com diferentes textura, mineralogia e histórico de uso.** 2008. cap. 2, 87p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

O histórico de uso e a mineralogia do solo podem modificar a dinâmica das formas de P, em função de diferenças na energia de ligação com os colóides do solo. No presente trabalho, avaliou-se a influência do histórico de uso, da mineralogia, da adubação fosfatada e do cultivo do com feijão nas formas de P de Latossolos da região do Cerrado. Os solos foram coletados na profundidade de 0-20 cm em áreas cultivadas por longos períodos, com calagem e adubações fosfatadas periódicas e, também, em áreas adjacentes não cultivadas (cerrado nativo). Experimentos foram realizados em casa de vegetação, dispostos em delineamento inteiramente casualizado, arranjos em esquema fatorial 2 x 4 (dois históricos de uso – cultivado e não cultivado e quatro doses de P, equivalentes a 0, 120, 240 e 480 mg dm⁻³), com quatro repetições. O fornecimento de P, na forma de superfosfato triplo, foi feito com base no teor de P₂O₅ total da fonte. As frações lábeis e pouco lábeis foram determinadas em todas as amostras dos solos das unidades experimentais, antes e após o cultivo do feijão, utilizando o método de Hedley et al. (1982), além do P total pelo método de Bowman (1989). O histórico de uso, a mineralogia, a textura e a adição de fósforo aos solos afetam de maneira variável a distribuição das frações de P no solo, sendo que a adubação fosfatada promoveu incrementos na maioria das frações inorgânicas e orgânicas estudadas. A textura menos argilosa e o caráter menos oxidado dos solos contribui para uma maior preservação do P adicionado em formas mais lábeis, havendo maior presença do compartimento orgânico lábil, quando estes solos não foram adubados anteriormente. A participação do compartimento orgânico de P, comparativamente ao inorgânico, é mais expressiva para os solos com maior teor de argila. Nos solos menos

* Comitê Orientador: Antônio Eduardo Furtini Neto - UFLA (Orientador); Nilton Curi – UFLA; Valdemar Faquin – UFLA; Rui Carvalho – UFLA; Álvaro Vilela de Resende – Embrapa Cerrados.

argilosos o comportamento destes compartimentos é bastante dependente do histórico de uso e da dose fornecida. E, a adição do P, em solos já adubados anteriormente, promove uma passagem mais lenta para o compartimento orgânico, principalmente nas maiores doses do nutriente. A obtenção de maiores teores de P lábil pelo fracionamento, em relação aos extratores de rotina, mostra o potencial do método para detectar o P disponível no solo.

2 ABSTRACT

SANTOS, José Zilton Lopes. Phosphorus fractions in Cerrado soils em function of the mineralogy, usage historic, and phosphate fertilization. In: _____. **Phosphate fertilization, phosphorus fractions, and beans plant response in Cerrado Latossols with several textures, mineralogy, and usage historic.** 2008. 87p. Thesis (Doctor in Soil Science) - Lavras Federal University, Lavras, MG.*

Due to the differences in the force which links P to the soil particles, the usage historic as well as the mineralogy can change the P forms dynamic. This work was carried out with the objective of evaluating the influence of usage historic, mineralogy, phosphate fertilization and the beans plant cultivation in the forms of P in Cerrado Latossols. Soil samples were collected at 0-20cm depth from both areas which had been long cultivated with liming and periodic phosphate fertilization and surrounding native Cerrado. Experiments were carried out in green house. A randomized-block design in a 2 x 4 factorial arrangement (two usage historic – cultivated and uncultivated – and four P doses as follows: 0, 120, 240, and 480 mg dm⁻³) with four replications was used. P in the form of triple superphosphate was supplied on the basis of total P₂O₅ content of the source. Both labile and little labile fractions were determined by the Hedley et al. method (1982) and total P by the Bowman method. Usage historic, mineralogy, texture, and P supply to the soils were found to influence on the P fractions in the soil in different ways. Phosphate fertilization increased most of the organic and inorganic fractions studied. Both the less clayey soil texture and the less oxidic character promote a higher preservation of the P supplied in more labile forms. In the non cultivated soils a higher presence of the labile organic compartment was noticed. In higher-clay-content soils P organic compartment role is more enhanced when compared to the inorganic one. In less clayey soils these compartments behavior depends on both the usage historic and the P dose supplied. When P is supplied to formerly fertilized soils its change to the organic compartment is slower, specially when it is supplied in higher doses. The highest labile P values were found by the fractionation method when compared to the routine method, showing that the former is more effective to extract available P in the soil than the latter.

* Guidance Committee: Antonio Eduardo Furtini Neto – UFLA (Adviser); Nilton Curi – UFLA; Valdemar Faquin – UFLA; Ruy Carvalho – UFLA; Álvaro Vilela de Resende – Embrapa Cerrados.

3 INTRODUÇÃO

Os solos tropicais, particularmente aqueles mais intemperizados, apresentam baixos teores de fósforo disponível para as plantas e exigem adequada correção para entrarem no processo de produção agrícola. Além disso, a indisponibilização de boa parte do fósforo fornecido na adubação, devido ao fenômeno da adsorção de P, processo pelo qual o elemento fica retido na superfície das partículas do solo, em consequência de reações com componentes do solo, faz com que a aplicação de maiores quantidades de fosfatos seja necessária (Sousa et al., 2004).

Em termos globais, mais de 75% do P aplicado fica retido nas partículas do solo, o que contribui para o acúmulo deste elemento nos solos cultivados (Siqueira et al., 2004). Dessa forma, a busca por práticas que evitem ou minimizem o contato entre o íon fosfato e a superfície dos colóides inorgânicos, conseqüentemente, diminuindo as reações de adsorção e aumentando a disponibilidade às plantas, torna-se bastante importante. Em relação ao sistema plantio direto (SPD), a ação isolada ou conjunta da aplicação localizada em sulcos, da maior participação do fósforo orgânico e da menor fixação de fósforo, muitas vezes, tem levado a respostas bem menos pronunciadas a doses de fósforo em experimentos (Lopes et al., 2004).

As espécies diferem quanto à capacidade de crescimento, em função dos níveis de P no solo (Bhadoria et al., 2002). Um uso mais eficiente do nutriente presente no solo pode ser obtido com o cultivo de uma única espécie com maior habilidade extratora de P ou, muitas vezes, pela combinação de várias espécies, como num sistema de rotação de culturas (Oberson et al., 2001). A braquiária é considerada uma espécie com grande potencial para ciclar o P no solo (Silva et al., 2003), a ponto de incrementar substancialmente as taxas de recuperação do nutriente, nos sistemas em que faz parte da sucessão de culturas (Sousa &

Lobato, 2004). De acordo com Rao (2001), os fatores que contribuem para uma melhor aquisição de fósforo pela braquiária são o seu maior crescimento de raiz, tolerância ao alumínio e uma absorção eficiente do nutriente. Quanto ao feijoeiro, este tem apresentado resposta à adição de P, sendo que a baixa disponibilidade desse nutriente no solo afeta, negativamente, o seu crescimento e produção (Pastorini et al., 2000).

Existe também uma preocupação em se buscar métodos eficientes em expressar o comportamento do nutriente no solo, em função de diferentes históricos de uso, de forma a auxiliar na tomada de decisão quanto ao melhor manejo da adubação fosfatada. Nesse sentido, uma das maneiras de caracterizar o P no solo seria através do fracionamento, que apresenta vantagens na obtenção de informações sobre a disponibilidade, em curto e longo prazo, por meio da determinação das frações de P de vários graus de disponibilidade para as plantas (Silva et al., 2003). Por exemplo, a determinação do compartimento orgânico, que não é obtido pelos extratores de rotina e pode representar parte considerável do P total, principalmente, em sistemas de cultivo mínimo, pode ser importante no entendimento da dinâmica do nutriente no solo.

No presente trabalho objetivou-se quantificar e avaliar a dinâmica e disponibilidade das frações inorgânicas e orgânicas de fósforo em solos da região do Cerrado, em função do seu histórico de uso, da textura, mineralogia e da aplicação de doses de fósforo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, utilizando-se amostras de quatro solos: um Latossolo Vermelho distrófico (LVd1)-textura argilosa, um Latossolo Vermelho distrófico (LVd2)-textura média alta, um Latossolo Vermelho-Amarelo

distrófico (LVAd1)-textura média e um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd2)-textura média baixa. As amostras dos solos foram coletadas na Fazenda Alto Alegre localizada no município de Planaltina de Goiás-GO, situado a 15° 20' 04,99" de latitude sul e 47°34'42,73" de longitude oeste, a uma altitude média de 1044 m e uma pluviosidade média anual de 1500 mm. Para cada solo, as amostras foram obtidas na profundidade de 0-20 cm, sob condição de vegetação nativa (cerrado) e sob diferentes cultivos (braquiária e ou grãos em plantio direto).

O LVd1 e o LVAd1 apresentavam-se sob o sistema de plantio direto (SPD) há mais de dez anos. Nesse período foi feito um preparo de solo com arado de aiveca, no primeiro solo e uma subsolagem no segundo, de forma que, à época da coleta, estavam, respectivamente, com seis e quatro anos de plantio direto contínuo. Essas duas áreas vinham sendo cultivadas com soja e milho em sistema de sucessão e, recebendo uma adubação fosfatada média anual de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Em 2000/2001, o LVd argiloso recebeu, também, uma adubação corretiva com 650 kg ha⁻¹ de fosfato reativo de Gafsa (28% de P₂O₅ total).

O LVd2 e o LVAd2 foram usados com pastagem de capim braquiária (*Brachiaria brizantha*, cultivar Marandu) de 1986 a 1999, cultivados com soja e milho por cinco safras, (sendo que antes da última foi feita uma subsolagem) e, novamente, braquiária por três anos. Para as culturas anuais, foram fornecidos, em média, 88 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P₂O₅. Em 1999/2000, os dois solos receberam adubação corretiva com 650 kg ha⁻¹ de fosfato reativo de Gafsa.

Após a coleta, os solos foram homogeneizados, destorroados e passados em peneira de 4 mm para os experimentos com feijoeiro. Parte das amostras de cada solo foram passadas em peneiras de 2mm de malha e submetidas às análises de atributos químicos, físicos e mineralógicos (Tabela 1).

Quatro experimentos foram realizados em casa de vegetação, um em cada solo, utilizando-se o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Jalo Radiante)

como planta teste, em vasos plásticos com capacidade para quatro dm^3 de solo. Os solos receberam carbonato de cálcio e carbonato de magnésio p.a, na relação de quatro partes de cálcio para uma de magnésio, objetivando elevar a saturação por bases a 70%, (exceto os solos LVAd1 e LVd2 na condição cultivada, que não necessitaram de calagem) e uma adubação básica combinada com as quatro doses de P, que constituíram os tratamentos. Logo após, os solos foram incubados por 30 dias e, nesta fase, a umidade foi mantida em 60% do volume total de poros (VTP) ocupados por água (Freire et al., 1980).

TABELA 1. Atributos químicos, físicos e mineralógicos dos solos (0-20 cm de profundidade), antes da aplicação dos tratamentos.

Atributos dos solos	SOLOS							
	LVd1		LVd2		LVAd1		LVAd2	
	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C
pH (H ₂ O)	5,5	5,7	4,9	7,0	5,2	5,8	5,2	5,7
K (mg dm^{-3})	43	123	109	94	58	245	47	156
Ca (cmol _c dm^{-3})	0,5	2,2	0,7	4,4	0,5	3,6	0,5	2,1
Mg (cmol _c dm^{-3})	0,2	0,8	0,2	2,2	0,2	1,4	0,2	0,7
Al (cmol _c dm^{-3})	0,8	0,2	1,6	0,0	1,9	0,1	1,6	0,3
H+Al (cmol _c dm^{-3})	6,5	4,0	6,3	1,3	6,5	2,6	6,8	3,3
Matéria orgânica (g kg^{-1})	32,0	28,0	25,0	25,0	21,0	27,0	25,0	25,0
P - Mehlich 1 (mg dm^{-3})	1,0	11,6	1,9	16,9	1,5	26,5	1,7	11,9
P - Resina (mg dm^{-3})	3,6	37,0	3,2	13,2	2,8	35,3	3,1	12,9
P ₂ O ₅ (g kg^{-1})	0,6	1,1	0,5	0,4	0,2	0,4	0,2	0,3
P-remanescente (mg kg^{-1})	9,8	14,6	15,4	19,9	23,2	36,0	26,7	32,6
CMAP (mg L^{-1})	1139	994	672	528	315	147	196	136
Areia (g kg^{-1})	104	126	380	417	587	464	543	500
Silte (g kg^{-1})	326	304	300	253	213	326	327	350
Argila (g kg^{-1})	570	570	320	330	200	210	130	150
Ct (g kg^{-1})	203,1	242,0	78,7	88,7	28,0	35,2	17,0	21,0
Gb (g kg^{-1})	115,9	111,7	11,4	7,0	7,6	5,3	1,9	4,3
Hematita (g kg^{-1})	4,7	4,7	2,6	2,7	0,9	1,0	0,6	0,7
Goethita (g kg^{-1})	35,1	34,1	5,2	5,7	2,4	3,7	1,1	1,9

LVd1 = Latossolo vermelho distrófico textura argilosa, LVd2 = Latossolo vermelho distrófico textura média alta, LVAd1= Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura média e LVAd2 = Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura média baixa. pH em água (H₂O), Ca, Mg, K, P (Mehlich -1), Al e análise granulométrica foram determinados conforme Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa (1997). H + Al, carbono orgânico e P-resina, conforme Raij et al. (1987), P-remanescente de acordo com Alvarez et al. (2000). P₂O₅ conforme Vettori (1969), com modificações da Embrapa (1997). CMAP = Capacidade máxima de adsorção de fósforo, determinada de acordo com Syers et al. (1973). Caulinita (Ct), gibsitita (Gb), hematita e goethita, foram estimadas por alocação, a partir de dados do ataque sulfúrico (Resende et al., 1987).

Nos quatro experimentos, os tratamentos foram dispostos em delineamento inteiramente casualizados, com esquema fatorial (2 x 4) com quatro repetições, totalizando 32 vasos. Os tratamentos foram constituídos por duas condições de uso anterior do solo [solo não cultivado (NC) e solo cultivado por vários anos (C)] e quatro doses de P (0, 120, 240 e 480 mg dm⁻³), utilizando-se como fonte o superfosfato triplo. Esta fonte foi moída em gral de ágata e, posteriormente, misturada ao solo. O fornecimento das doses de P foi efetuado com base no teor de P₂O₅ total da fonte (46,1%).

A adubação básica foi feita com macro e micronutrientes: 100 mg de N; 100 mg de K nos solos não cultivados e 30 mg nos solos cultivados; 40 mg de S; 0,8 mg de B; 1,5 mg de Cu; 3,6 mg de Mn; 5,0 mg de Zn; 0,15 mg de Mo por dm³ de solo. Esta adubação foi balanceada na forma de reagentes p.a., para que somente quantidade de P variasse, sendo os nutrientes aplicados na forma de solução, sendo o solo homogeneizado posteriormente à aplicação. Após a aplicação dos tratamentos e incubação por 30 dias, foi feita nova amostragem para análise quanto aos atributos químicos (Tabela 1 e 2A).

Adubações de cobertura com N e K, foram realizadas de acordo com o crescimento das plantas. Os tratamentos conduzidos nos solos cultivados receberam 300 mg de N e 150 mg de K por dm³, enquanto que os solos não cultivados receberam 300 mg de N e 300 mg de K por dm³, parcelados em três aplicações.

Após a incubação, procedeu-se a semeadura de seis sementes de feijão por vaso. Após 12 dias do plantio foram efetuados desbastes, deixando-se apenas três plantas por vaso. Durante a condução do experimento, a umidade foi mantida em 60% do VTP (Freire et al., 1980), por meio de pesagens diárias dos vasos e adição de água deionizada. Foram feitos rodízios semanais com os vasos.

Após o cultivo com feijão em casa de vegetação e no momento da retirada das raízes, amostras de solo de cada vaso, juntamente com as amostras de solo na condição inicial (antes da aplicação dos tratamentos), foram preparadas e, em seguida, foram determinadas as frações de P, segundo o método de Hedley et al. (1982) e o P total do solo de acordo com Bowman (1989). A extração das frações inorgânicas e orgânicas de fósforo no solo foi realizada conforme metodologia de Hedley et al. (1982) com adaptação para o uso de terra fina seca ao ar (TFSA) e foram quantificadas apenas as frações lábeis e pouco lábeis (Figura 1). As frações de P determinadas no solo foram: (1) fração lábil de P ou P disponível, correspondendo ao P inorgânico e orgânico extraído com NaHCO_3 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ pH 8,5 (Pi e Po NaHCO_3 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$); (2) fração pouco lábil de P, que compreende o P inorgânico ligado a Fe e Al (Pi-NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$) e P orgânico (Po-NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$) associado a compostos húmicos, extraídas com NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$. Esta fração, no presente estudo foi considerada como moderadamente lábil. (3) fração pouco lábil de P, que compreende o P inorgânico ligado a Fe e Al (Pi-NaOH $0,5 \text{ mol L}^{-1}$) e P orgânico (Po - NaOH $0,5 \text{ mol L}^{-1}$) associado a compostos húmicos, extraídas com NaOH $0,5 \text{ mol L}^{-1}$.

O conteúdo de Po das amostras foi estimado a partir da diferença entre o P-total de cada fração (Pi + Po) e o P inorgânico (Pi) recuperado no extrato. O P-total foi determinado numa alíquota que sofreu autoclavagem a 120°C , e o Pi determinado após clarificação de alíquota do mesmo extrato, através da acidificação da amostra e centrifugação a 2000 rpm por 15 minutos. Em relação à extração do fósforo total do solo (P total Bowman), foi utilizado o método proposto por Bowman (1989), com o P sendo extraído em meio ácido diluído e em meio alcali, sendo o P total do solo obtido pela soma de P do extrato ácido mais o P do extrato alcali. Para todos os extratos, o P foi determinado por colorimetria, segundo Murphy & Riley (1962).

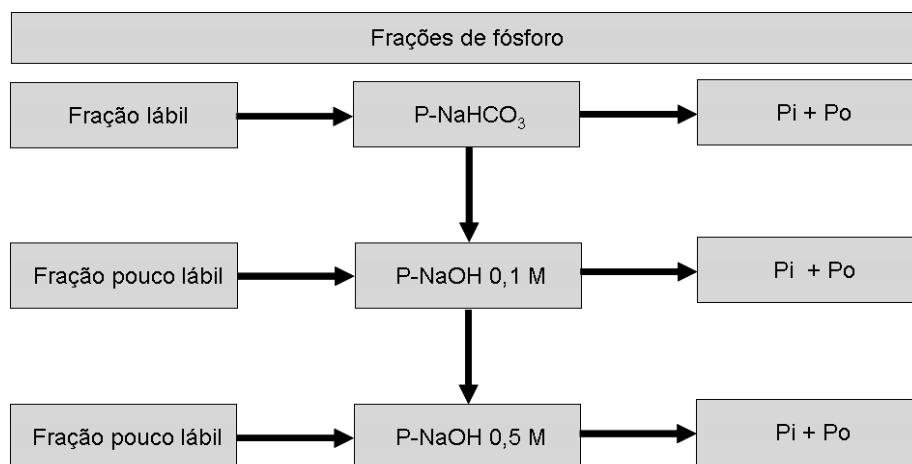


FIGURA 1. Fluxograma operacional de algumas frações de fósforo, conforme Hedley et al. (1982).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e testes de médias (Scott-Knott, 5%), para avaliar as diferenças entre os tratamentos. Foram ajustadas equações de regressão para as diferentes frações de P e para o P total do solo, como variáveis dependentes das doses de P, utilizando-se o software estatístico SISVAR 4.6 (Ferreira, 2000).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os solos apresentaram comportamentos distintos quanto à distribuição das frações de fósforo, no entanto, o histórico de cultivo do solo com braquiária ou grãos em SPD não mostrou influência marcante no comportamento das frações. Por outro lado, a textura dos solos e a mineralogia, juntamente com o histórico de uso (cultivado e não cultivado) foram os principais condicionantes das diferenças nas formas de P nesses solos.

5.1 Frações inorgânicas de fósforo

De modo geral, houve interação significativa do histórico de uso e doses de P, no comportamento da maioria das frações inorgânicas de P (Tabelas 3, 4, 5 e 6A).

Quanto à fração mais lábil (Pi-NaHCO_3 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$), a aplicação de P aumentou o seu teor em todos os solos, principalmente, nas amostras originadas das áreas cultivadas (Tabelas 2, 3, 4 e 5). Nota-se pelos coeficientes angulares das equações de regressão, que para cada unidade de P adicionada no solo que já havia sido cultivado anteriormente, há uma maior contribuição no valor de P disponível em relação à condição não cultivada. Por outro lado, a maior magnitude de recuperação desta fração de P foi observada para o solo LVAd1 (Tabela 4), possivelmente em função do seu menor teor de argila, aliado ao fato desse solo estar cultivado no SPD, sistema que recebe uma maior adição de P em relação ao cultivo com braquiária.

A maioria dos solos estudados tendeu acumular o P adicionado na seguinte ordem: $\text{Pi-NaOH } 0,1 \text{ mol L}^{-1} > \text{Pi-NaHCO}_3 0,5 \text{ mol L}^{-1} > \text{Pi-NaOH } 0,5 \text{ mol L}^{-1}$, com maior magnitude para os solos cultivados, exceto no solo LVd1, que apresentou a fração $\text{Pi NaOH } 0,5 \text{ mol L}^{-1} > \text{Pi-NaHCO}_3 0,5 \text{ mol L}^{-1}$. Esta maior presença do P na fração $\text{Pi-NaOH } 0,1 \text{ mol L}^{-1}$, pode ser explicada pela maior adsorção (adsorção específica ou formação de complexos de superfície com Fe^{+3} e/ou Al^{+3}) do Pi, através de troca de ligantes com os grupos hidroxila localizados na superfície dos oxihidróxidos de ferro e alumínio, pois, essa fração apresenta uma estreita relação com a presença de óxidos de ferro e alumínio, além da caulinita e matéria orgânica (Torrent et al., 1992; Conte et al., 2003).

TABELA 2. Fósforo inorgânico (Pi), fósforo orgânico (Po) e fósforo total recuperado (P total Bowman) no solo LVd1, proveniente de área cultivada com grãos (C) e não cultivada (NC) e após cultivo em casa de vegetação com feijoeiro sob diferentes doses de P.

Frações de Fósforo	Uso	Condição Inicial ¹	Doses de P (mg dm ⁻³)				Equações	R ²
			0	120	240	480		
-----Frações inorgânicas (mg kg ⁻¹)-----								
Pi-NaHCO ₃ 0,5 M	NC	5	(0) ³ 5 b	(280) 19 b	(520) 31 b	(1100) 60 b	Y = 4,914 + 0,114X	0,99 **
	C	19	(5) 20 a	(37) 26 a	(126) 43 a	(379) 91 a	Y = 12,635 + 0,154X	0,95 **
Pi-NaOH 0,1M	NC	51	(-20) 41 b	(127) 116 b	(249) 178 b	(563) 338 b	Y = 39,009 + 0,616X	0,99 **
	C	168	(-5) 160 a	(26) 212 a	(78) 299 a	(157) 432 a	Y = 154,445 + 0,579X	0,99 **
Pi-NaOH 0,5M	NC	46	(-9) 42 b	(15) 53 b	(56) 72 b	(111) 97 b	Y = 53,071 + 0,117X	0,99 **
	C	107	(-41) 63 a	(-27) 78 a	(-11) 95 a	(11) 119 a		
Pi total	NC	102	(-14) 88 b	(84) 188 b	(175) 281 b	(385) 495 b	Y = 158,575 + 0,848X	0,99 **
	C	294	(-17) 243 a	(7) 316 a	(49) 437 a	(118) 642 a		
-----Frações orgânicas (mg kg ⁻¹)-----								
Po-NaHCO ₃ 0,5 M	NC	35	(-51) 17 b	(-9) 32 b	(71) 60 b	(134) 82 b	Y = 18,841 + 0,137X	0,96 **
	C	56	(-39) 34 a	(-2) 55 a	(29) 72 a	(77) 99 a	Y = 36,934 + 0,133X	0,99 **
Po-NaOH 0,1 M	NC	193	(-15) 164 b	(19) 229 b	(35) 261 b	(182) 545 a	Y = 133,513 + 0,792X	0,93 **
	C	147	(118) 321 a	(199) 440 a	(231) 486 a	(245) 507 b	Y = 364,400 + 0,353X	0,75 **
Po-NaOH 0,5 M	NC	12	(308) 49 b	(483) 70 b	(1033) 136 a	(708) 97 b	Y = 41,140 + 0,532X - 0,0008X ²	0,80 **
	C	23	(230) 76 a	(252) 81 a	(474) 132 b	(526) 144 a	Y = 75,349 + 0,155X	0,84 **
Po total	NC	240	(-4) 230 b	(38) 331 b	(90) 457 b	(202) 724 b	Y = 220,444 + 1,011X	0,99 **
	C	226	(91) 431 a	(155) 576 a	(205) 690 a	(231) 750 a	Y = 474,150 + 0,627X	0,84 **
-----Fósforo total (mg kg ⁻¹)-----								
P total Bowman ²	NC	400	(2) 407 b	(115) 859 b	(144) 976 b	(426) 2105 a	Y = 362,404 + 3,450X	0,96 **
	C	543	(78) 967 a	(139) 1298 a	(238) 1833 a	(238) 1834 b	Y = 1099,118 + 1,828X	0,77 **

Médias seguidas de mesmas letras nas colunas e para cada fração de P não diferem entre si (Scott-Knott, 5%). ** = significativo a 1% e não significativo, pelo teste de F. ³ os números entre parênteses correspondem aos valores de P em %, relativo à condição inicial antes da aplicação dos tratamentos. Pi total = somatório das frações Pi-NaHCO₃, Pi-NaOH 0,1 M e Pi-NaOH 0,5 M; Po total = somatório das frações Po-NaHCO₃, Po-NaOH 0,1 M e Po-NaOH 0,5 M. ¹ Dados relativos às amostras de solo na condição inicial, antes da aplicação dos tratamentos. ² P total Bowman = fósforo total do solo determinado conforme Bowman (1989).

TABELA 3. Fósforo inorgânico (Pi), fósforo orgânico (Po) e fósforo total recuperado (P total Bowman) no solo LVd2 proveniente de área cultivada com pastagem (C) e não cultivada (NC) e após cultivo em casa de vegetação com feijoeiro sob diferentes doses de P.

Frações de Fósforo	Uso	Condição Inicial ¹	Doses de P (mg dm ⁻³)				Equações	R ²
			0	120	240	480		
-----Frações inorgânicas (mg kg ⁻¹)-----								
Pi-NaHCO ₃ 0,5M	NC	6	(-33) ³ 4 a	(200) 18 b	(550) 39 b	(1400) 90 b	Y = - 0,597 + 0,182X	0,99 **
	C	6	(-33) 4 a	(533) 38 a	(667) 46 a	(1567) 100 a	Y = 6,159 + 0,193X	0,97 **
Pi-NaOH 0,1 M	NC	32	(-16) 27 a	(178) 89 a	(331) 138 a	(675) 248 a	Y = 30,267 + 0,454X	0,99 **
	C	38	(-18) 31 a	(116) 82 b	(263) 138 a	(510) 232 b	Y = 32,562 + 0,419X	0,99 **
Pi-NaOH 0,5 M	NC	13	(15) 15 b	(61) 21 b	(131) 30 b	(185) 37 b	Y = 16,022 + 0,047X	0,96 **
	C	12	(75) 21 a	(142) 29 a	(208) 37 a	(408) 61 a	Y = 19,239 + 0,084X	0,99 **
Pi total	NC	51	(-10) 46 b	(151) 128 b	(306) 207 b	(635) 375 b	Y = 45,808 + 0,675X	0,99 **
	C	56	(0) 56 a	(166) 149 a	(295) 221 a	(602) 393 a	Y = 59,261 + 0,687X	0,99 **
-----Frações orgânicas (mg kg ⁻¹)-----								
Po-NaHCO ₃ 0,5M	NC	24	(-46) 13 a	(-42) 14 a	(-29) 17 a	(-4) 23 b	Y = 12,004 + 0,021X	0,97 **
	C	19	(-68) 6 b	(-89) 2 b	(-26) 14 a	(47) 28 a	Y = 1,611 + 0,052X	0,86 **
Po-NaOH 0,1 M	NC	171	(-37) 108 a	(10) 189 a	(39) 237 a	(94) 331 a	Y = 121,767 + 0,450X	0,98 **
	C	177	(-36) 113 a	(-13) 153 b	(-21) 139 b	(-15) 150 b	Y = 118,348 + 0,202X - 0,0003X ²	0,63 **
Po-NaOH 0,5 M	NC	3	(500) 18 b	(867) 29 b	(800) 27 b	(1533) 49 b	Y = 18,325 + 0,061X	0,91 **
	C	13	(108) 27 a	(285) 50 a	(308) 53 a	(585) 89 a	Y = 28,940 + 0,123X	0,96 **
Po-total	NC	198	(-30) 139 a	(17) 232 a	(42) 281 a	(103) 403 a	Y = 154,622 + 0,526X	0,99 **
	C	209	(-30) 146 a	(-2) 205 b	(-1) 207 b	(28) 267 b	Y = 155,956 + 0,239X	0,92 **
-----Fósforo total (mg kg ⁻¹)-----								
P total Bowman ²	NC	97	(82) 177 b	(280) 369 b	(388) 473 b	(425) 509 b	Y = 246,785 + 0,645X	0,79 **
	C	393	(-42) 226 a	(48) 582 a	(75) 688 a	(122) 871 a	Y = 331,852 + 1,238X	0,87 **

Médias seguidas de mesmas letras nas colunas e para cada fração de P não diferem entre si (Scott-Knott, a 5%). ** = significativo a 1% pelo teste de F. ³ os números entre parênteses correspondem aos valores de P em %, relativo à condição inicial antes da aplicação dos tratamentos. Pi total = somatório das frações Pi-NaHCO₃, Pi-NaOH 0,1 M e Pi-NaOH 0,5 M; Po total = somatório das frações Po-NaHCO₃, Po-NaOH 0,1 M e Po-NaOH 0,5 M. ¹Dados relativos às amostras de solo na condição inicial, antes da aplicação dos tratamentos. ² P total Bowman = fósforo total do solo determinado conforme Bowman (1989).

TABELA 4. Fósforo inorgânico (Pi), fósforo orgânico (Po) e fósforo total recuperado (P total Bowman) no solo LVAd1, proveniente de áreas cultivada com grãos (C) e não cultivada (NC) e após cultivo em casa de vegetação com feijoeiro sob diferentes doses de P.

Frações de Fósforo	Uso	Condição Inicial ¹	Doses de P (mg dm ⁻³)				Equações	R ²
			0	120	240	480		
-----Frações inorgânicas (mg kg ⁻¹)-----								
Pi-NaHCO ₃ 0,5M	NC	4	(50) ³ 6 b	(475) 23 b	(1225) 53 b	(2750) 114 b	Y = 0,362 + 0,232X	0,99 **
	C	27	(-11) 24 a	(85) 50 a	(211) 84 a	(418) 140 a	Y = 23,058 + 0,245X	0,99 **
Pi-NaOH 0,1 M	NC	19	(-16) 16 b	(279) 72 b	(542) 122 b	(1021) 213 b	Y = 59,952 + 0,402	0,99 **
	C	115	(-15) 98 a	(26) 145 a	(76) 202 a	(149) 287 a		
Pi-NaOH 0,5 M	NC	10	(-20) 8 b	(40) 14 b	(90) 19 b	(170) 27 b	Y = 8,661 + 0,039X	0,98 **
	C	20	(5) 21 a	(35) 27 a	(45) 29 a	(110) 42 a	Y = 20,640 + 0,042X	0,98 **
Pi total	NC	33	(-9) 30 b	(230) 109 b	(488) 194 b	(973) 354 b	Y = 29,313 + 0,672X	0,99 **
	C	162	(-12) 143 a	(37) 222 a	(94) 315 a	(189) 469 a	Y = 141,569 + 0,696X	0,99 **
-----Frações orgânicas (mg kg ⁻¹)-----								
Po-NaHCO ₃ 0,5M	NC	15	(-13) 13 b	(187) 43 a	(473) 86 a	(347) 67 b	Y = 9,561 + 0,452X - 0,0007X ²	0,94 **
	C	48	(6) 51 a	(-15) 41 a	(35) 65 b	(69) 81 a	Y = 43,609 + 0,076X	0,78 **
Po-NaOH 0,1 M	NC	101	(-50) 50 a	(-45) 55 b	(-18) 83 a	(-64) 36 b	Y = 45,689 + 0,245X - 0,0005X ²	0,76 **
	C	27	(93) 52 a	(181) 76 a	(122) 60 b	(370) 127 a	Y = 48,099 + 0,146X	0,79 **
Po-NaOH 0,5 M	NC	2	(450) 11 b	(500) 12 b	(600) 14 b	(800) 18 b	Y = 10,941 + 0,015X	0,97 **
	C	12	(92) 23 a	(83) 22 a	(125) 27 a	(192) 35 a	Y = 21,335 + 0,027X	0,90 **
Po total	NC	118	(-37) 74 b	(-7) 110 b	(55) 183 a	(2) 121 b	Y = 67,189 + 0,688X - 0,0011X ²	0,86 **
	C	87	(45) 126 a	(60) 139 a	(75) 152 b	(179) 243 a	Y = 112,160 + 0,265X	0,86 **
-----Fósforo total (mg kg ⁻¹)-----								
P total Bowman ²	NC	177	(25) 221 b	(108) 368 b	(207) 543 b	(304) 716 b	Y = 245,096 + 1,033X	0,97 **
	C	268	(101) 540 a	(158) 692 a	(181) 752 a	(291) 1048 a	Y = 541,584 + 1,029X	0,98 **

Médias seguidas de mesmas letras nas colunas e para cada fração de P não diferem entre si (Scott-Knott, a 5%). ** = significativo a 1% e não significativo, pelo teste de F. ³ os números entre parênteses correspondem aos valores de P em %, relativo à condição inicial antes da aplicação dos tratamentos. Pi total = somatório das frações Pi-NaHCO₃, Pi-NaOH 0,1 M e Pi-NaOH 0,5 M; Po total = somatório das frações Po-NaHCO₃, Po-NaOH 0,1 M e Po-NaOH 0,5 M. ¹ Dados relativos às amostras de solo na condição inicial, antes da aplicação dos tratamentos. ² P total Bowman = fósforo total do solo determinado conforme Bowman (1989).

TABELA 5. Fósforo inorgânico (Pi), fósforo orgânico (Po) e fósforo total recuperado (P total Bowman) no solo LVAd2, proveniente de áreas cultivada com pastagem (C) e não cultivada (NC) e após cultivo em casa de vegetação com feijoeiro sob diferentes doses de P.

Frações de fósforo	Uso	Condição Inicial ¹	Doses de P (mg dm ⁻³)				Equações	R ²
			0	120	240	480		
-----Frações inorgânicas (mg kg ⁻¹)-----								
Pi-NaHCO ₃ 0,5M	NC	5	(-40) ³ 3 b	(280) 19 b	(820) 46 b	(1860) 98 b	Y = - 0,828 + 0,203X	0,99 **
	C	14	(-50) 7 a	(93) 27 a	(307) 57 a	(664) 107 a	Y = 4,886 + 0,211X	0,99 **
Pi-NaOH 0,1 M	NC	23	(-30) 16 b	(222) 74 b	(383) 111 b	(822) 212 a	Y = 19,429 + 0,399X	0,99 **
	C	56	(-16) 47 a	(80) 101 a	(159) 145 a	(280) 213 a	Y = 55,134 + 0,340X	0,99 **
Pi-NaOH 0,5 M	NC	7	(14) 8 b	(100) 14 b	(129) 16 b	(243) 24 b	Y = 8,778 + 0,032X	0,97 **
	C	14	(7) 15 a	(36) 19 a	(64) 23 a	(114) 30 a	Y = 15,528 + 0,030X	0,99 **
Pi total	NC	35	(-23) 27 b	(206) 107 b	(394) 173 b	(854) 334 b	Y = 26,126 + 0,642X	0,99 **
	C	84	(-18) 69 a	(75) 147 a	(168) 225 a	(317) 350 a	Y = 74,175 + 0,590X	0,99 **
-----Frações orgânicas (mg kg ⁻¹)-----								
Po-NaHCO ₃ 0,5M	NC	18	(-33) 12 b	(55) 28 a	(89) 34 a	(139) 43 a	Y = 16,295 + 0,061X	0,90 **
	C	31	(-29) 22 a	(-41) 18 b	(-55) 14 b	(-6) 29 b	Y = 23,114 - 0,075X + 0,0002X ²	0,95 **
Po-NaOH 0,1 M	NC	86	(-27) 63 b	(-15) 73 b	(9) 94 b	(107) 178 a	Y = 50,338 + 0,246X	0,94 **
	C	143	(-40) 86 a	(-38) 89 a	(11) 159 a	(-17) 119 b	Y = 75,273 + 0,429X - 0,0007 X ²	0,62 **
Po-NaOH 0,5 M	NC	1	(900) 10 b	(1800) 19 b	(2700) 28 b	(3500) 36 b	Y = 12,139 + 0,053X	0,96 **
	C	6	(333) 26 a	(483) 35 a	(817) 55 a	(1117) 73 a	Y = 25,889 + 0,102X	0,98 **
Po total	NC	105	(-19) 85 b	(14) 120 b	(49) 156 b	(145) 257 a	Y = 77,562 + 0,370X	0,98 **
	C	180	(-25) 134 a	(-21) 142 a	(27) 228 a	(23) 221 b	Y = 142,918 + 0,196X	0,71 **
-----Fósforo total (mg kg ⁻¹)-----								
P total Bowman ²	NC	105	(95) 205 b	(197) 312 b	(378) 502 b	(737) 879 a	Y = 172,630 + 1,438X	0,99 **
	C	240	(16) 279 a	(85) 443 a	(173) 656 a	(259) 862 a	Y = 303,411 + 1,223X	0,97 **

Médias seguidas de mesmas letras nas colunas e para cada fração de P não diferem entre si (Scott-Knott, a 5%). ** = significativo a 1%, pelo teste de F. ³ os números entre parênteses correspondem aos valores de P em %, relativo à condição inicial antes da aplicação dos tratamentos. Pi total = somatório das frações Pi-NaHCO₃, Pi-NaOH 0,1 M e Pi-NaOH 0,5 M; Po total = somatório das frações Po-NaHCO₃, Po-NaOH 0,1 M e Po-NaOH 0,5 M. ¹ Dados relativos às amostras de solo na condição inicial, antes da aplicação dos tratamentos. ² P total Bowman = fósforo total do solo determinado conforme Bowman (1989).

Avaliando o particionamento de P em Latossolos sob contrastantes sistemas de cultivo, Oberson et al. (2001) verificaram que as áreas que haviam recebido uma maior adubação, sob cultivo contínuo de arroz, apresentaram um maior incremento de P nas formas inorgânicas, que o sistema que recebeu um menor fornecimento de P durante o cultivo braquiária-legumes e, esses dois sistemas foram superiores à área de cerrado nativo que não havia recebido P. Esses resultados reforçam a hipótese de que a adição de P, por longos períodos, faz com que haja um balanço positivo desse elemento no solo, alterando, principalmente, a magnitude da frações inorgânicas (Araújo & Salcedo, 1997). No entanto, no presente estudo, a fração Pi-NaOH 0,1 mol L⁻¹ no solo LVd2 apresentou um maior acúmulo no solo não cultivado (Tabela 3). O fato da área cultivada estar recebendo calagem ao longo dos anos, que poderia promover uma maior degradação da matéria orgânica, juntamente com o efeito do cultivo da braquiária, poderia explicar tal comportamento, uma vez que, essa espécie é considerada por alguns autores (Silva et al., 2003), como de grande potencial para ciclar o P, no solo, a ponto de incrementar, substancialmente, as taxas de recuperação do nutriente nos sistemas em que essa gramínea faz parte da sucessão de culturas (Sousa & Lobato, 2003).

5.2 Frações orgânicas de fósforo

Ocorreu interação significativa entre histórico de uso e doses de P para todas as frações orgânicas de P (Tabelas 7, 8, 9 e 10A).

De maneira análoga às frações inorgânicas de P, segundo Hedley et al. (1982) ocorre uma diminuição na labilidade das frações orgânicas na seguinte ordem: P orgânico extraído com bicarbonato (Po-NaHCO_3 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$) > P orgânico extraído com hidróxido de sódio $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ (Po-NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$) > P orgânico extraído com hidróxido $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ (Po-NaOH $0,5 \text{ mol L}^{-1}$).

Quanto à fração Po-NaHCO_3 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, mais lábil entre as frações orgânicas, observam-se diferentes respostas, em função do histórico de uso dos solos, de modo que os maiores valores de P, nessa fração, foram obtidos nos solos na condição não cultivada, exceto o solo LVd1, que apresentou maior recuperação de P, nessa fração, quando cultivado (Tabela 2). Tal comportamento pode ter ocorrido, em função de uma maior atividade biológica na área não cultivada, contribuindo para uma maior incorporação do P aplicado nessa fração orgânica lábil, como também destacado por Oberson et al. (2001) e Buehler et al. (2002) e, esse comportamento parece estar estreitamente relacionado aos menores teores de argila apresentados por estes solos. Em relação ao LVd1 não cultivado pode ter ocorrido uma maior mineralização do Po, em função do seu manejo no experimento.

Por outro lado, chama atenção, a redução da fração Po-NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ na condição não cultivada (LVAd1) e, em ambas as condições de uso (LVAd2), após o cultivo do feijão em relação à condição inicial (condição anterior à aplicação dos tratamentos), principalmente nas primeiras doses de P. Esse comportamento indica que poderia estar havendo uma mineralização do Po dessa fração, podendo o P mineralizado suprir as formas lábeis de P e ser absorvida pela planta do

feijoeiro durante o crescimento ou ser adsorvida em formas menos lábeis no solo. Nas condições em que a adição de fertilizantes é inferior à exportação de fósforo do sistema, formas de fósforo de labilidade intermediária atuam como fonte, mantendo os teores na solução do solo (Gatiboni et al., 2007; Santos et al., 2008a), sugerindo que a absorção de Pi pelas plantas do feijão, principalmente nas menores doses de P, pode ter desencadeado um processo de mineralização de parte do Po e, repondo o Pi à solução.

Em relação as frações Po NaOH 0,1 e 0,5 mol L⁻¹, que constituíram no principal reservatório de P do compartimento orgânico, observa-se que os maiores valores foram encontrados nos solos na condição cultivada, exceto o solo LVd2 que apresentou um maior acúmulo de Po-NaOH 0,1 mol L⁻¹ no solo não cultivado. Quanto ao LVd2, esses resultados corroboram aqueles encontrados por Cunha et al. (2007), que encontraram maiores teores de Po (total e lábil), em solos de textura média sob florestas em relação àqueles sob pastagens. De acordo com esses autores, o uso do solo por atividade em que a extração de nutrientes e as taxas de mineralização são mais intensas, como no caso das pastagens, em relação às coberturas florestais, acarretaria a perda de carbono orgânico e, conseqüentemente, de Po. Esse comportamento se daria em função de uma maior permanência de parte do P ciclado nas florestas na forma de compostos orgânicos, protegidos de alguma forma da competição exercida pela fase mineral do solo (Novais & Smyth, 1999). Por outro lado, observa-se que ao contrário das frações inorgânicas que apresentaram comportamento linear para todas as frações, em ambos históricos de uso, em função da adição de doses crescentes de P, algumas

frações orgânicas apresentaram comportamentos quadráticos, havendo, na maioria das vezes, uma tendência de diminuição dessas frações a partir da terceira dose, não havendo, no entanto, um comportamento muito claro, em função do histórico de uso ou da textura dos solos.

5.3 Fósforo inorgânico, orgânico e P total recuperado

A fração inorgânica total de P no solo, determinada no presente estudo, inclui a soma de uma fração lábil de P (Pi-NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹) com duas frações moderadamente lábeis (Pi-NaOH 0,1 e 0,5 mol L⁻¹) e, do mesmo modo, a fração orgânica total é composta pela soma da fração lábil (Po-NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹) com as duas frações moderadamente lábeis (Po-NaOH 0,1 e 0,5 mol L⁻¹).

A interação do histórico de uso e doses de P foi significativa, para as formas inorgânicas e orgânicas totais e para o P total do solo (Tabelas 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10A).

Tanto para o P inorgânico quanto para o P orgânico houve diferenças de comportamento, em função do histórico de uso e das doses aplicadas (Tabelas 2, 3, 4 e 5). A adição de doses crescentes de P aos solos promoveu incrementos nos compartimentos de Pi e Po, na maioria dos casos, exceto o LVAd1, onde o P orgânico total na condição não cultivada apresentou um comportamento quadrático (Tabela 4). Esses resultados indicam que a adição de P ao solo contribui para aumentos em ambos os compartimentos, porém, no presente estudo foi observado uma maior recuperação do P no compartimento orgânico, em ambos os históricos de uso, apenas para o solo com maior teor argila (LVd1).

Nos demais solos, o compartimento de acúmulo do P adicionado foi bastante dependente do histórico de uso do solo e, também, da dose fornecida. Nesse sentido, os resultados mostram que em solos com maior teor de argila, quando é feita uma adição recente de P, há uma maior preservação do mesmo, no compartimento orgânico em relação ao inorgânico, quando comparado àqueles com menores teores de argila. E, apesar do solo cultivado apresentar um maior valor de P_ó, em relação ao não cultivado (exceto o LVd2), quando se adiciona o P no solo há uma passagem mais rápida do mesmo para o compartimento inorgânico para os solos já cultivados anteriormente, principalmente, quando maiores doses são fornecidas. Além disso, existe uma tendência de que nas menores doses de P, este se acumula, preferencialmente, no compartimento orgânico em ambos os históricos de uso, e, nas doses mais elevadas, o acúmulo ocorre preferencialmente no compartimento inorgânico, como mostram os valores de P em %, relativo à condição inicial antes da aplicação dos tratamentos (Tabelas 2, 3, 4 e 5). Segundo Kuo et al. (2005), em áreas não cultivadas há uma maior preservação do P no estoque orgânico e, à medida que doses crescentes do nutriente são aplicadas ao solo, ocorre uma diminuição deste compartimento, em relação ao compartimento inorgânico.

Essa maior preservação do P no compartimento orgânico, para os solos com maior teor de argila, pode ter ocorrido em função da maior presença de minerais de ferro e alumínio (Tabela 1), responsáveis por uma forte interação com o fosfato de inositol (principal forma de P_o extraída pelo NaOH), que em função da alta densidade de cargas e da precipitação destes, com os sais de alumínio e ferro de baixa solubilidade

conferem uma maior estabilidade contra o ataque de microrganismos e enzimas (Zhang et al., 1999). Desta forma, o maior teor de matéria orgânica neste solo e o seu alto teor de argila (Tabela 1), podem favorecer à formação de complexos argilo-húmicos, que também contribuem para uma maior preservação do P_o . Do ponto de vista de manejo, esse aspecto seria bastante relevante, pois, em solos altamente intemperizados a disponibilidade de P, pode depender mais da ciclagem da matéria orgânica de fácil decomposição do que da dessorção de P inorgânico (Raij, 2004).

Em relação ao P total recuperado (P total Bowman), verifica-se que houve incrementos com a adição de doses crescentes de P em todos os solos e em ambos os históricos de uso (Tabelas 2, 3, 4 e 5). Os maiores valores foram observados para os solos na condição cultivada, principalmente no SPD, que recebeu uma maior adição de P, indicando que a adubação fosfatada e aplicação de calcário, que afeta as formas P_i e P_o adsorvidas (induzindo a liberação de P), provavelmente são as causas dos acréscimos no teor de P total do solo.

Chama a atenção os baixos valores do P total recuperado (P total Bowman) nos diferentes solos, principalmente para a condição inicial (anterior à aplicação dos tratamentos) e, também, quando foram fornecidas as menores doses de P para o cultivo do feijoeiro, sugerindo haver um baixo P residual nesses solos, confrontando com outros resultados de pesquisas que têm mostrado comportamento inverso (Santos et al., 2008b). No entanto, deve considerar que foram utilizadas diferentes metodologias de extração para as frações de P e para o P total, o que pode ter contribuído para tal comportamento. A extração das frações P_i e

pouco lábeis de P foram feitas de acordo com Hedley et al. (1982), que utilizam como soluções extratoras o bicarbonato $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ para a fração lábil e o hidróxido de sódio $0,1$ e $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, para a fração pouco lábil, enquanto que o P total do solo a extração foi feita de duas maneiras: uma parte com ácido sulfúrico concentrado e a outra parte com hidróxido de sódio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, sendo, posteriormente feita a soma dessas frações. Apesar dos extratores do P total serem mais fortes que aqueles utilizados na metodologia de Hedley et al. (1982), exceto o NaOH $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, o tempo de agitação da solução solo-solução extratora para o P total é mais curto que aqueles utilizados para extração das frações intermediárias, o que pode ter interferido nos resultados.

5.4 Disponibilidade de fósforo

No presente trabalho, as formas de P consideradas disponíveis para as plantas, foram obtidas por dois diferentes métodos: P disponível pelos extratores resina de troca iônica e Mehlich-1 e o P disponível (P-lábil), obtido pelo fracionamento de Hedley et al. (1982) constituído pela soma do $P_i + P_o\text{-NaHCO}_3$ $0,5 \text{ mol L}^{-1}$.

Houve interação significativa do histórico de uso e doses de P, para o fósforo disponível e, também, para o P pouco lábil, na maioria dos solos (Tabelas 11, 12, 13 e 14A).

Em relação ao P disponível (extratores de rotina e fracionamento), observa-se que o seu comportamento foi afetado pelo histórico de uso e pelas doses de P nos diferentes solos (Tabelas 6, 7, 8 e 9). Os maiores teores de P disponível, obtidos pelos diferentes extratores foram

observados nas amostras dos solos cultivados e a adição de doses crescentes de P promoveu aumentos na disponibilidade de P, independentemente do histórico de uso. Este comportamento, deve-se ao fato da área cultivada ter recebido adubações com fósforo por vários anos, e, à medida que ocorre uma saturação dos sítios de ligação de P, na superfície dos colóides do solo, há um excesso de carga negativa, promovendo uma menor adsorção do P aplicado (Buehler et al., 2002; Singh et al., 2006), além do próprio efeito da calagem, diminuindo a adsorção de P, seja pelo aumento de cargas negativas do solo ou por propiciar uma maior decomposição da matéria orgânica e, conseqüentemente, aumentar a mineralização do P no solo cultivado (Silva et al., 2000).

Apenas para o LVAd2 (Tabela 9), não houve efeito de interação histórico de uso versus doses de P, para P disponível obtido pelo extrator resina de troca iônica, não havendo, também, diferença significativa entre os históricos de uso (Tabela 14A). O solo na condição cultivada apresentou um valor médio de 58,3 mg dm⁻³, enquanto que na condição não cultivada observou-se um teor médio de 55,6 mg dm⁻³. Observa-se que para este solo, também não fica bem definido o efeito do histórico de uso na fração lábil extraída conforme Hedley et al. (1982), embora haja uma tendência de maior recuperação de P no solo não cultivado, em relação ao cultivado, principalmente, quando se aumentam as doses de P.

Os dados obtidos mostram que, os maiores valores de P disponível foram encontrados nos solos de textura mais leve e, entre estes, o SPD proporcionou uma maior recuperação de P disponível, Comportamento similar àquele observado para o P total Bowman (Tabelas 2, 3, 4 e 5).

Possivelmente, isso se deve ao fato de que no SPD houve uma maior aplicação de P, o que contribuiu para um maior teor de P total e P disponível para as plantas.

Vale ressaltar que apesar da comparação do comportamento de extratores não ser o foco principal deste estudo, nota-se uma tendência do extrator resina proporcionar maiores valores absolutos de P disponível, em relação ao Mehlich-1, principalmente nos solos com maiores teores de argila (LV). Certamente, esta constatação está relacionada à baixa eficiência de extratores de caráter ácido, em solos tropicais, com predominância de caulinita e óxidos de ferro e alumínio na fração argila, principalmente, quando os solos são adubados por longos períodos com fontes solúveis (Silva & Raij, 1999; Novais & Smyth, 1999). Por outro lado, a fração lábil ($P_i + P_o - NaHCO_3$), considerada de disponibilidade imediata para as plantas (Hedley et al., 1982), tendeu a ser superior aos valores de P disponível obtidos pelos extratores de rotina (Tabelas 6, 7, 8 e 9). Ressalta-se, nesse caso, o fato de que o P lábil obtido pelo fracionamento é constituído em parte pelo compartimento orgânico, que não é quantificado pelos dois extratores de rotina.

Em relação à fração pouco lábil de P ($P_i + P_o - NaOH 0,1$ e $0,5 \text{ mol L}^{-1}$), observa-se que esta fração correspondeu ao principal reservatório do P aplicado aos diferentes solos avaliados (Tabelas 6, 7, 8 e 9), principalmente no solo cultivado, exceção feita ao solo LVd2, onde as amostras da área não cultivada apresentaram o maior valor de P pouco lábil, com o aumento das doses de P (Tabela 7).

TABELA 6. Fósforo disponível pelos métodos resina de troca iônica (P-resina), Mehlich-1 (P-Mehlich) e frações de fósforo lábil (P-lábil) e pouco lábil (P-pouco lábil) no solo LVd1, proveniente de áreas cultivada com grãos (C) e não cultivada (NC) e após cultivo em casa de vegetação com feijoeiro sob diferentes doses de P.

Fósforo	Uso	Condição Inicial ¹	Doses de P (mg dm ⁻³)				Equações	R ²
			0	120	240	480		
-----P rotina (mg dm ⁻³)-----								
P-resina	NC	4	(25) ³ 5 b	(675) 31 b	(1325) 57 b	(3300) 136 b	Y = - 0,252 + 0,274X	0,99 **
	C	37	(-22) 29 a	(65) 61 a	(146) 91 a	(286) 143 a	Y = 31,451 + 0,235X	0,99 **
P-Mehlich	NC	1	(0) 1 b	(900) 10 b	(2000) 21 b	(5800) 59 b	Y = - 2,898 + 0,123X	0,97 **
	C	12	(-17) 10 a	(50) 18 a	(208) 37 a	(508) 73 a	Y = 6,084 + 0,135X	0,98 **
-----Fração lábil (mg kg ⁻¹)-----								
P-lábil	NC	40	(-45) 22 b	(27) 51 b	(127) 91 b	(255) 142 b	Y = 24,498 + 0,245X	0,99 **
	C	75	(-28) 54 a	(8) 81 a	(53) 115 a	(153) 190 a	Y = 48,417 + 0,282X	0,99 **
-----Fração pouco lábil (mg kg ⁻¹)-----								
P-pouco lábil	NC	302	(-2) 296 b	(55) 468 b	(114) 647 b	(257) 1077 b	Y = 281,021 + 1,670X	0,99 **
	C	445	(39) 620 a	(82) 811 a	(127) 1012 a	(170) 1202 a	Y = 661,362 + 1,154X	0,97 **

Médias seguidas de mesmas letras nas colunas e para cada fração de P não diferem entre si (Scott-Knott, a 5%). ** = significativo a 1% , pelo teste de F. ³ os números entre parênteses correspondem aos valores de P em %, relativo à condição inicial antes da aplicação dos tratamentos. P-lábil = somatório das frações Pi e Po-NaHCO₃; P-pouco lábil = somatório das frações Pi e Po NaOH 0,1 e 0,5M. ¹ Dados relativos às amostras de solo na condição inicial, antes da aplicação dos tratamentos.

TABELA 7. Fósforo disponível pelos métodos resina de troca iônica (P-resina), Mehlich-1 (P-Mehlich) e frações de fósforo lábil (P-lábil) e pouco lábil (P-pouco lábil) no solo LVd2, proveniente de áreas cultivada com pastagem (C) e não cultivada (NC) e após cultivo em casa de vegetação com feijoeiro sob diferentes doses de P.

Fósforo	Uso	Condição Inicial ¹	Doses de P (mg dm ⁻³)				Equações	R ²
			0	120	240	480		
-----P rotina (mg dm ⁻³)-----								
P-resina	NC	3	(-67) ³ 1 b	(967) 32 b	(2033) 64 b	(4233) 130 b	Y = 0,047 + 0,270X	0,99 **
	C	13	(23) 16 a	(192) 38 a	(500) 78 a	(1000) 143 a	Y = 11,766 + 0,271X	0,99 **
P-Mehlich	NC	2	(0) 2 b	(700) 16 b	(2050) 43 b	(5000) 102 b	Y = - 4,130 + 0,215X	0,98 **
	C	17	(-18) 14 a	(76) 30 a	(271) 63 a	(576) 115 a	Y = 10,000 + 0,218X	0,99 **
-----Fração lábil (mg kg ⁻¹)-----								
P-lábil	NC	30	(-43) 17 a	(3) 31 b	(87) 56 b	(273) 112 b	Y = 10,495 + 0,208X	0,97 **
	C	25	(-64) 9 b	(56) 39 a	(140) 60 a	(412) 128 a	Y = 7,144 + 0,254X	0,99 **
-----Fração pouco lábil (mg kg ⁻¹)-----								
P-pouco lábil	NC	219	(-23) 168 b	(50) 328 a	(97) 432 a	(204) 665 a	Y = 188,955 + 1,003X	0,99 **
	C	240	(-20) 192 a	(31) 314 b	(53) 367 b	(122) 532 b	Y = 205,496 + 0,685X	0,98 **

Médias seguidas de mesmas letras nas colunas e para cada fração de P não diferem entre si (Scott-Knott, a 5%). ** = significativo a 1% , pelo teste de F. ³ os números entre parênteses correspondem aos valores de P em %, relativo à condição inicial antes da aplicação dos tratamentos. P-lábil = somatório das frações Pi e Po -NaHCO₃; P-pouco lábil = somatório das frações Pi e Po NaOH 0,1 e 0,5M. ¹ Dados relativos às amostras de solo na condição inicial, antes da aplicação dos tratamentos.

TABELA 8. Fósforo disponível pelos métodos resina de troca iônica (P-resina), Mehlich-1 (P-Mehlich) e frações de fósforo lábil (P-lábil) e pouco lábil (P-pouco lábil) no solo LVAd1, proveniente de áreas cultivada com grãos (C) e não cultivada (NC) e após cultivo em casa de vegetação com feijoeiro sob diferentes doses de P.

Fósforo	Uso	Condição Inicial ¹	Doses de P (mg dm ⁻³)				Equações	R ²
			0	120	240	480		
-----P rotina (mg dm ⁻³)-----								
P-resina	NC	3	(33) ³ 4 b	(967) 32 b	(2167) 68 b	(4267) 131 b	Y = 2,375 + 0,268X	0,99 **
	C	35	(-23) 27 a	(89) 66 a	(194) 103 a	(374) 166 a	Y = 29,670 + 0,290X	0,99 **
P-Mehlich	NC	1	(100) 2 b	(2100) 22 b	(5100) 52 b	(12500) 126 b	Y = - 5,087 + 0,264X	0,98 **
	C	26	(-15) 22 a	(92) 50 a	(250) 91 a	(569) 174 a	Y = 16,925 + 0,322X	0,99 **
-----Fração lábil (mg kg ⁻¹)-----								
P-lábil	NC	19	(0) 19 b	(247) 66 b	(637) 140 b	(853) 181 b	Y = 31,090 + 0,342X	0,92 **
	C	75	(0) 75 a	(21) 91 a	(99) 149 a	(195) 221 a	Y = 65,779 + 0,320X	0,98 **
-----Fração pouco lábil (mg kg ⁻¹)-----								
P-pouco lábil	NC	132	(-36) 85 b	(16) 153 b	(80) 238 b	(123) 294 b	Y = 95,774 + 0,467X	0,97 **
	C	174	(11) 194 a	(55) 270 a	(83) 318 a	(182) 491 a	Y = 190,839 + 0,592X	0,98 **

Médias seguidas de mesmas letras nas colunas e para cada fração de P não diferem entre si (Scott-Knott, a 5%). ** = significativo a 1%, pelo teste de F. ³ os números entre parênteses correspondem aos valores de P em %, relativo à condição inicial antes da aplicação dos tratamentos. P-lábil = somatório das frações Pi e Po-NaHCO₃; P-pouco lábil = somatório das frações Pi e Po NaOH 0,1 e 0,5M. ¹ Dados relativos às amostras de solo na condição inicial, antes da aplicação dos tratamentos.

TABELA 9. Fósforo disponível pelos métodos resina de troca iônica (P-resina), Mehlich-1 (P-Mehlich) e frações de fósforo lábil (P-lábil) e pouco lábil (P-pouco lábil) no solo LVAd2, proveniente de áreas cultivada com pastagem (C) e não cultivada (NC) e após cultivo em casa de vegetação com feijoeiro sob diferentes doses de P.

Fósforo	Uso	Condição Inicial ¹	Doses de P (mg dm ⁻³)				Equações	R ²
			0	120	240	480		
-----P rotina (mg dm ⁻³)-----								
P-resina	NC	3	(67) ³ 5 a	(1000) 33 a	(2033) 64 a	(3933) 121 a	Y = 3,968 + 0,252	0,99 **
	C	13	(-54) 6 a	(146) 32 a	(408) 66 a	(892) 129 a		
P-Mehlich	NC	2	(0) 2 b	(1250) 27 b	(2800) 58 b	(6250) 127 a	Y = - 1,345 + 0,262X	0,99 **
	C	12	(-25) 9 a	(167) 32 a	(450) 66 a	(900) 120 b		
-----Fração lábil (mg kg ⁻¹)-----								
P-lábil	NC	23	(-35) 15 b	(104) 47 a	(248) 80 a	(513) 141 a	Y = 18,379 + 0,254X	0,99 **
	C	45	(33) 30 a	(0) 45 a	(58) 71 b	(202) 136 a		
-----Fração pouco lábil (mg kg ⁻¹)-----								
P-pouco lábil	NC	117	(-17) 97 b	(54) 180 b	(113) 249 b	(285) 450 a	Y = 90,544 + 0,733X	0,99 **
	C	219	(-20) 174 a	(11) 244 a	(74) 382 a	(99) 435 b		

Médias seguidas de mesmas letras nas colunas e para cada fração de P não diferem entre si (Scott-Knott, a 5%). ** = significativo a 1% e significativo, pelo teste de F. ³ os números entre parênteses correspondem aos valores de P em %, relativo à condição inicial antes da aplicação dos tratamentos. P-lábil = somatório das frações Pi e Po-NaHCO₃; P-pouco lábil = somatório das frações Pi e Po NaOH 0,1 e 0,5M. ¹ Dados relativos às amostras de solo na condição inicial, antes da aplicação dos tratamentos.

Os aumentos dessas frações nos solos cultivados são, provavelmente, decorrentes de adubações recebidas anteriormente, que contribuíram para a transformação do fertilizante fosfatado, em formas menos disponíveis de P (aumento da fixação) a longo prazo. Redel et al. (2007), avaliando o efeito do sistema de cultivo e da rotação de culturas sobre as frações de P num Ultisol, verificaram que após quatro anos de cultivo apenas 9,6% do P total encontrava-se como P lábil e que a adição de P no solo promoveu um aumento de 155% no P moderadamente lábil, principalmente no compartimento orgânico. Do ponto de vista do manejo do solo, para o presente estudo, deve se levar em conta que apesar da maior parte do P adicionado ao solo estar na forma pouco lábil, uma fração considerável do mesmo encontra-se no compartimento orgânico, como foi visto anteriormente e, este compartimento, além de diminuir a reatividade do P com o solo, ainda é tido como mais dinâmico em condições de baixo P ou onde predomina argila de baixa atividade (Sá, 2004; Rajj, 2004).

Levando-se em conta os resultados obtidos, nota-se que adição de P em solos com maior teor de argila promoveu um aumento mais significativo das frações pouco lábeis, principalmente no compartimento orgânico, tanto na condição cultivada e não cultivada. No entanto, verifica-se que os maiores valores do P disponível foram observados para a condição cultivada. Por outro lado, os solos com menores teores de argila contribuem com maiores teores de P lábil, em relação as frações pouco lábeis, principalmente no compartimento orgânico na condição não cultivada, sugerindo que nestes solos a redução da adubação em cultivos posteriores pode ser bem mais significativa que naqueles mais argilosos, e

mesmo, quando estes solos não tiverem uma adubação prévia, o aproveitamento do P adicionado pode ser maior, uma vez que há uma maior incorporação do mesmo no compartimento orgânico lábil.

Por outro lado, é clara a diferença de comportamento dos extratores de P disponível, principalmente quanto à textura e histórico de uso dos solos e tendo em vista que qualquer das formas de P no solo poderá ser uma importante fonte do nutriente para as plantas, quando considerados diferentes tipos de solos (Bahia Filho & Braga, 1975), torna-se necessária a busca de extratores de rotina mais específicos, em virtude, principalmente, do aumento da exploração agrícola em sistemas de cultivo mínimo ou plantio direto, onde o uso dos extratores de rotina parecem limitados para detectar certas formas de P, como aquelas presentes no compartimento orgânico.

6 CONCLUSÕES

O histórico de uso, a mineralogia e a adição de fósforo aos solos afetam de maneira variável a distribuição das frações de P no solo, sendo que a adubação fosfatada promoveu incrementos na maioria das frações inorgânicas e orgânicas estudadas.

A textura menos argilosa e o caráter menos oxidico dos solos contribui para uma maior preservação do P adicionado em formas mais lábeis, havendo maior presença do compartimento orgânico lábil, quando estes solos não foram adubados anteriormente.

A participação do compartimento orgânico de P, comparativamente ao inorgânico, é mais expressiva para os solos com

maior teor de argila. Nos solos menos argilosos o comportamento do P destes compartimentos é bastante dependente do histórico de uso e da dose fornecida, sendo que a adição do P, em solos já adubados anteriormente, promove uma passagem mais lenta para o compartimento orgânico, principalmente nas maiores doses do nutriente.

A obtenção de maiores teores de P lábil pelo fracionamento em relação aos extratores de rotina, mostra o potencial dos métodos de fracionamento para detectar o P disponível no solo.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, V.V.H.; NOVAIS, R.F. de; DIAS, L.E.; OLIVEIRA, J.A. de. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 27-32, 2000.
- ARAÚJO, M.S.; SALCEDO, I.H. Formas preferenciais de acumulação de fósforo em solos cultivados com cana-de-açúcar na região nordeste. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 643-650, 1997.
- BAHIA FILHO, A.F.C.; BRAGA, J.M. Fósforo em latossolos do Estado de Minas Gerais. III. Índices de disponibilidade de fósforo e crescimento vegetal. **Experientiae**, Viçosa, v. 20, p. 217-234, 1975.
- BHADORIA, P.S.; STEINGROBE, B.; CLAASSEN, N.; LIEBERSBACH, H. Phosphorus efficiency of wheat and sugar beet seedlings grown in soils with mainly calcium, or iron and aluminum phosphate. **Plant and Soil**, Crawley, v. 246, n. 1, p. 41-52, Setp. 2002.
- BOWMAN, R.A. A sequential extraction procedure whit concentrated sulfuric acid and dilute base for soil organic phosphorus. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 53, n. 2, p. 362-366, Mar/Apr. 1989.
- BUEHLER, S.; OBERSON, A.; RAO, J.M.; FRIESEN, D.K.; FROSSARD, E. Sequential phosphorus extraction of a ³³P-labeled Oxisol under contrasting agricultural systems. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 66, n. 3, p. 868-877, May/June 2002.
- CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D.S. Frações de fósforo acumuladas em latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 893-900, set./out. 2003.
- CUNHA, G. de. M.; RODRIGUES, A.C. da G.; COSTA, G.S.; VELLOSO, A.C.X. Fósforo orgânico em solos sob florestas montanas, pastagens e eucalipto no norte fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 667-672, 2007.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1997. 212 p.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos, SP. **Programa e resumos...** São Carlos: UFScar, 2000. p. 255-258.

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

GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J.; SANTOS, D.R.; FLORES, J.P.C. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 691-699, 2007.

HEDLEY, M.J.; STEWARD, W.B.; CHAUHAN, B.S. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fraction induced by cultivation practices and laboratory incubation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 46, n. 5, p. 970-976, Sept./Oct. 1982.

KUO, S.; HUANG, B.; BEMBENEK, R. Effects of long term phosphorus fertilization and winter cover cropping on soil phosphorus transformations in less weathered soil. **Biol Fertil Soils**, Firenze, v. 41, n. 2, p. 116-123, Feb. 2005.

LOPES, A.S.; WIETHÖLTER, S.; GUILHERME, L.R.G.; SILVA, C.A. **Sistema plantio direto: bases para o manejo da fertilidade do solo**. São Paulo: ANDA, 2004. 110 p.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution methods for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, v. 26, p. 31-36, 1962.

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

OBERSON, A.; FRIENSEN, D.K.; RAO, I.M.; BÜHLER, S.; FROSSARD, E. Phosphorus transformations in an Oxisol under contrasting land-use systems: the role of the soil microbial biomass. **Plant and Soil**, Crawley, v. 237, n. 2, p. 197-210, Dec. 2001.

- PASTORINI, L.H.; BACARIN, M.A.; LOPES, N.F.; LIMA, M.G.S. Crescimento inicial de feijoeiro submetido a diferentes doses de fósforo em solução nutritiva. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 47, n. 270, p. 219-228, 2000.
- RAIJ, B. van. Fósforo no solo e interação com outros elementos. In: YAMADA, T.; ABDALA, S.R.S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 107-114.
- RAIJ, B. van.; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargil, 1987. 170 p.
- RAO, I.M. Adapting tropical forages to low-fertility soils. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., 2001, Piracicaba. **Annals...** Piracicaba: Brazilian Society of Animal Husbandry, 2001. p. 247-254.
- REDEL, Y.D.; RUBIO, R.; ROUANET, J.L.; BORIE, F. Phosphorus bioavailability affected by tillage and crop rotation on a Chilean volcanic derived Ultisol. **Geoderma**, Amsterdam, v. 139, n. 3, p. 388-396, May 2007.
- RESENDE, M.; BAHIA FILHO, A.F.C.; BRAGA, J.M. Mineralogia da argila de Latossolos estimada por alocação a partir do teor total de óxidos do ataque sulfúrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 11, n. 1, p. 17-23, jan./abr. 1987.
- SÁ, J.C.M. de. Adubação fosfatada no sistema plantio direto. In: YAMADA, T.; ABDALA, S.R.S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 201-220.
- SANTOS, D.R.; GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistemas plantio direto. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 576-586, mar/abr. 2008a.
- SANTOS, J.Z.L.; FURTINI NETO, A.E.; RESENDE, A.V.; CURI, N.; CARNEIRO, L.F.; COSTA, S.E.V.G.A. Frações de fósforo em solo adubado com fosfatos em diferentes modos de aplicação e cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 705-714, 2008b.

SILVA, C.A.; ANDERSON, S.J.; GUILHERME, L.R.G. Uso de cromatografia de exclusão por tamanho na caracterização de substâncias húmicas de Latossolo Vermelho-Escuro sob efeito de calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 495-503, 2000.

SILVA, F.C. da; RAIJ, B. van. Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 2, p. 267-288, fev. 1999.

SILVA, M.A. da; NÓBREGA, J.C.A.; CÚRI, N.; SIQUEIRA, J.O.; SÁ, J.J.G. de; MARQUES, M.; MOTTA, P.E.F. Frações de fósforo em latossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 10, p. 1197-1207, out. 2003.

SINGH, V.; DHILLON, N.S.; BRAR, B.S. Influence of long-term of fertilizers and farmyard manure on the adsorption-desorption behavior and bioavailability of phosphorus in soils. **Nutrient Cycling Agroecosystems**, v. 15, p. 67-78, 2006.

SIQUEIRA, J.O.; ANDRADE, A.T.; FAQUIN, V. O papel dos microrganismos na disponibilização e aquisição de fósforo pelas plantas. In: YAMADA, T.; ABDALA, S.R.S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 117-149.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do cerrado. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 102, p. 1-16, 2003.

SOUSA, D. M.G. de; LOBATO, E.; REIN, A.T. Adubação fosfatada. In: SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Cerrados, 2004. p. 147-168.

SYERS, J.K.; BROWMAN, M.G.; SAMILLE, G.W.; COREY, R.B. Phosphate sorption by soils evaluated by the Langmuir adsorption equation. **Soil Science Society America Proceedings**, Madison, v. 37, n. 1, p. 358-363, 1973.

TORRENT, J.; BARRON, V.; SCHWERTMAN, U. Fast and slow phosphorus sorption by goethite rich natural materials. **Clays and Clay Minerals**, v. 40, n. 1, p. 14-21, Feb. 1992.

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

ZHANG, T.Q.; MACKENZIE, A.F.; SAURIOL, F. Nature of soil organic phosphorus as affected by long-term fertilization under continuous corn (*Zea Mays* L.): ³¹P NMR study. **Soil Science**, New Brunswick, v. 164, n. 9, p. 662-670, 1999.

CAPÍTULO 3

1 RESUMO

SANTOS, José Zilton Lopes. Resposta do feijoeiro à adubação fosfatada em solos de cerrado com diferentes históricos de uso. In: _____. **Adubação fosfatada, frações de fósforo e resposta do feijoeiro em Latossolos de cerrado com diferentes textura, mineralogia e histórico de uso.** 2008. cap. 3, 87p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. *

O uso agrícola modifica a dinâmica do fósforo e influencia os teores das diversas formas do nutriente no solo. No presente trabalho, avaliou-se a resposta do feijoeiro à adubação fosfatada, em quatro Latossolos de Cerrado, com diferentes históricos de uso. Foram utilizadas amostras da camada de 0-20 cm de profundidade de um Latossolo Vermelho (LVd) de textura argilosa, um Latossolo Vermelho (LVd) com textura média alta, um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVAd) textura média e um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVAd) textura média baixa. As amostras foram coletadas em locais cultivados há vários anos, com calagem e adubações fosfatadas periódicas e, também, em áreas adjacentes não cultivadas (sob cerrado nativo). Para cada solo, foi conduzido um experimento em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, num esquema fatorial 2 x 4 (dois históricos de uso – cultivado e não cultivado, e quatro doses de P), com quatro repetições. As doses de P, equivalentes a 0, 120, 240 e 480 mg dm⁻³, foram aplicadas na forma de superfosfato triplo. Os resultados mostraram que a adição de doses crescentes de fósforo aos solos promoveu, de modo geral, aumento de todos os componentes relacionados ao crescimento e produção. A condição de solo já cultivado potencializou a resposta do feijoeiro à adubação, sobretudo na menor dose de P. Nessa condição, houve melhor absorção pelas plantas e uma maior proporção do P fornecido foi incorporada ao componente vegetal. Em se tratando da primeira adubação, a eficiência de utilização de P aumentou intensamente com as doses do nutriente, nas amostras não cultivadas, o que não ocorreu nos solos já adubados, fazendo

* Comitê Orientador: Antonio Eduardo Furtini Neto - UFLA (Orientador); Nilton Curi – UFLA; Valdemar Faquin – UFLA; Ruy Carvalho – UFLA; Álvaro Vilela de Resende – Embrapa Cerrados.

com que, na maior dose, a produção de grãos nos dois casos tendesse a se equiparar.

2 ABSTRACT

SANTOS, José Zilton Lopes. Bean plants response to phosphate fertilization in Cerrado soils with different historic of usage. In: _____. **Phosphate fertilization, phosphorus fractions, and beans plant response in Cerrado Latossols with several textures, mineralogy, and usage historic**. 2008. 87p. Thesis (Doctor in Soil Science) – Lavras Federal University, Lavras, MG.*

Cultivation activities change the P dynamics and influence on the contents of several forms of nutrients in the soil. This work was carried out with the objective of evaluating the beans plants response to phosphate fertilization in four Cerrado Latossols with different usage historic. Samples of a 0-20 cm deep layer of a clayey dystrophic Red Latosol (LVd), a high medium texture Red Latosol (LVd), a medium dystrophic Red-Yellow Latosol (LVAd) and a low medium texture Red-Yellow Latosol (LVAd) were used. They were collected from both areas cultivated with liming and periodic phosphate fertilization for long periods of time and surrounding uncultivated areas (native Cerrado). For each type of soil one experiment was carried out in green house. A randomized-block design in a 2 x 4 factorial arrangement (two usage historic – cultivated and uncultivated, and four P doses) with four replication was used. The following P doses: 0, 120, 240, and 480 mg dm⁻³ were used on the form of triple superphosphate. Results show that when increasing P doses were supplied all components concerning both growth and yield increased. The formerly-cultivated condition of the soils improved the beans plants response to fertilization especially when the lowest P dose was supplied. On such condition a better plant absorption was noticed as well as a higher rate of P supplied was accumulated in the vegetal component. Because that was the first fertilization the effectiveness of P in the uncultivated samples increased drastically when this nutrient was supplied. The same was not found in formerly cultivated soils. As a result, when the highest P dose was supplied the grain yield in both soils tended to be equivalent.

* Guidance Committee: Antonio Eduardo Furtini Neto – UFLA (Adviser); Nilton Curi – UFLA; Valdemar Faquin – UFLA; Ruy Carvalho – UFLA; Álvaro Vilela de Resende – Embrapa Cerrados.

3 INTRODUÇÃO

O fósforo (P) desempenha papel importante na fotossíntese, respiração, armazenamento e transferência de energia, divisão e crescimento celular, dentre outros processos que ocorrem na planta (Dechen & Nachtigall, 2007). Dessa forma, a maioria das culturas apresenta resposta ao fornecimento do nutriente e, sem um nível adequado do nutriente no solo, a planta não pode alcançar seu potencial de produtividade.

Segundo Raij et al. (1982), em solos com baixos teores de P disponível, são requeridas aplicações anuais de manutenção da ordem de 20 a 50 kg ha⁻¹ de P para a maioria das culturas. Para o feijoeiro comum, este nutriente também tem proporcionado as maiores e mais freqüentes respostas e sua baixa disponibilidade no solo afeta, negativamente, o crescimento e produção (Pastorini et al., 2000). A importância do P para o feijoeiro está ligada diretamente ao aumento do número de vagens, massa dos grãos e crescimento do sistema radicular, estando relacionada, ainda, com o processo de maturação e melhoria da qualidade dos grãos (Fageria et al., 2003). No entanto, é baixa a eficiência da adubação fosfatada nos solos tropicais. O baixo teor de P disponível nos solos do Cerrado, em função de sua alta capacidade de fixação do nutriente na fase sólida, é a principal limitação para o desenvolvimento de qualquer atividade rentável sem a aplicação de adubos fosfatados (Sousa et al., 2004).

Quando são aplicados fertilizantes fosfatados, a maior parte do P adicionado é adsorvida aos colóides do solo, havendo recuperação pelas culturas de 5 a 20% do P aplicado em um ano agrícola (Araújo & Machado, 2007). A magnitude dessa recuperação, que depende da espécie cultivada, é afetada também pela textura, pois, de modo geral, solos que apresentam maiores teores de argila apresentam grande fixação de P e, conseqüentemente, menor

disponibilidade às plantas (Novais & Smyth, 1999). Além disso, outros fatores como dose, forma de aplicação do fertilizante fosfatado, rotação de culturas e o sistema de preparo do solo influem também nesse processo (Sousa et al., 2004).

Uma rotação de culturas, que contemple espécies com alta eficiência em extrair P, contribui para uma maior recuperação do P adicionado ao solo. Maior índice de recuperação de P foi observado por Sousa et al. (1997), num sistema, onde se intercalou o cultivo de pastagens (*Brachiaria humidicola*) com o cultivo de culturas anuais, em relação a uma área explorada exclusivamente com culturas anuais. Possivelmente, a maior habilidade da braquiária, em ciclar o fósforo no sistema torna-o mais disponível às plantas. Caradus (1980), relata maior tolerância das gramíneas ao baixo teor de P no solo que as leguminosas, em função daquelas apresentarem um maior comprimento radicular, raízes mais finas e maiores pêlos radiculares.

Em relação ao SPD, a combinação de culturas com habilidades diferenciadas na extração e exportação de P têm apresentado respostas na produção de grãos, neste sistema de cultivo (Sá, 2004). De acordo com esse autor, quando se adotam sistemas de cultivo que não revolvem o solo, ocorre um rearranjo da estrutura, associado à manutenção dos canalículos das raízes de culturas anteriores e dos resíduos culturais, minimizando a tendência de adsorção das formas solúveis e lábeis de P. Além disso, a aplicação do fertilizante em superfície e em linha e o aumento da ciclagem dos resíduos de cultivos contribuem para uma maior disponibilidade do P (Anghinoni, 2006). Dessa forma, o manejo quanto ao sistema de cultivo e culturas utilizadas é um importante fator, para determinar mudanças nas formas de P e sua disponibilidade nos solos.

No presente trabalho, objetivou-se avaliar, em casa de vegetação, as respostas do feijoeiro a doses de fósforo em quatro Latossolos de Cerrado com diferentes históricos de uso.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, utilizando-se amostras de um Latossolo Vermelho distrófico (LVd1)-textura argilosa, um Latossolo Vermelho distrófico (LVd2)-textura média alta, um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd1)-textura média e um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd2)-textura média baixa. Para cada um dos solos coletados na Fazenda Alto Alegre (Planaltina de Goiás-GO), foram obtidas amostras da camada de 0-20 cm, em locais cultivados há vários anos e em áreas adjacentes nunca cultivadas (sob cerrado nativo).

O LVd1 e o LVAd1 apresentavam-se sob o sistema de plantio direto (SPD) há mais de dez anos. Nesse período foi feito um preparo de solo com arado de aiveca no primeiro solo e uma subsolagem no segundo, de forma que, à época da coleta, estavam com seis e quatro anos de plantio direto contínuo respectivamente. Essas duas áreas vinham sendo cultivadas com soja e milho em sistema de sucessão, e, recebendo uma adubação fosfatada média anual de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Em 2000/2001, o LVd argiloso recebeu, também, uma adubação corretiva com 650 kg ha⁻¹ de fosfato reativo de Gafsa (28% de P₂O₅ total).

O LVd2 e o LVAd2 foram usados com pastagem de capim braquiária (*Brachiaria brizantha*, cultivar Marandu) de 1986 a 1999, cultivados com soja e milho por cinco safras (sendo que antes da última foi feita uma subsolagem), e, novamente, braquiária por três anos. Para as culturas anuais, foram fornecidos, em média, 88 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P₂O₅. Em 1999/2000, os dois solos receberam adubação corretiva com 650 kg ha⁻¹ de fosfato reativo de Gafsa.

Após a coleta, as amostras de solo foram homogeneizadas, destorroadas e passadas em peneira de 4 mm, para os experimentos com o feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.cv. Jalo Radiante) em casa de vegetação. Subamostras

foram passadas em peneiras de 2mm de malha e submetidas às análises de atributos químicos, físicos e mineralógicos (Tabela 1).

Foi montado um experimento com cada solo, em vasos plásticos com capacidade para $4,0 \text{ dm}^3$. Os solos receberam carbonato de cálcio e carbonato de magnésio p.a., na relação de quatro partes de cálcio para uma de magnésio, objetivando elevar a saturação por bases a 70%, (exceto os solos LVAd1 e LVd2 na condição cultivada, que não necessitaram de calagem). Em seguida, os solos foram incubados por 30 dias e, nessa fase, a umidade foi mantida em 60% do volume total de poros (VTP) (Freire et al., 1980).

Para cada experimento, os tratamentos foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado, num esquema fatorial (2 x 4) com quatro repetições, totalizando 32 vasos. Os tratamentos foram constituídos por duas condições de histórico de uso do solo (solo não cultivado ou solo cultivado) e quatro doses de P (0, 120, 240 e 480 mg dm^{-3}), na forma de superfosfato triplo. Esta fonte foi moída em gral de ágata e, posteriormente, misturada ao solo. O fornecimento das doses de P foi efetuado com base no teor de P_2O_5 total da fonte (46,1%).

Em todas as parcelas, efetuou-se uma adubação básica com macro e micronutrientes constituída de: 100 mg de N; 100 mg de K nos solos não cultivados e 30 mg nos solos cultivados; 40 mg de S; 0,8 mg de B; 1,5 mg de Cu; 3,6 mg de Mn; 5,0 mg de Zn; e 0,15 mg de Mo por dm^3 de solo. Esta adubação foi feita com reagentes p.a., sendo aplicada na forma de solução, sendo o solo homogeneizado posteriormente à aplicação.

Após o período de incubação, procedeu-se à semeadura de seis sementes de feijão por vaso. Doze dias após plantio (DAP) foram efetuados desbastes, deixando-se apenas três plantas por vaso. Durante a condução do experimento, a umidade foi mantida em 60% do VTP (Freire et al., 1980), por meio de pesagens dos vasos e adição de água deionizada. Foram feitos rodízios semanais do posicionamento dos vasos.

TABELA 1. Principais atributos químicos, físicos e mineralógicos dos solos utilizados no experimento, antes da aplicação dos tratamentos.

Atributos dos solos	Solos							
	LVd1		LVd2		LVAd1		LVAd2	
	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C
pH (H ₂ O)	5,5	5,7	4,9	7,0	5,2	5,8	5,2	5,7
P - Mehlich 1 (mg dm ⁻³)	1,0	11,6	1,9	16,9	1,5	26,5	1,7	11,9
P - Resina (mg dm ⁻³)	3,6	37,0	3,2	13,2	2,8	35,3	3,1	12,9
K (mg dm ⁻³)	43	123	109	94	58	245	47	156
Ca (cmol _c dm ⁻³)	0,5	2,2	0,7	4,4	0,5	3,6	0,5	2,1
Mg (cmol _c dm ⁻³)	0,2	0,8	0,2	2,2	0,2	1,4	0,2	0,7
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,8	0,2	1,6	0,0	1,9	0,1	1,6	0,3
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	6,5	4,0	6,3	1,3	6,5	2,6	6,8	3,3
SB (cmol _c dm ⁻³)	0,8	3,4	1,2	6,8	0,8	5,6	0,9	3,1
t (cmol _c dm ⁻³)	1,7	3,6	2,8	6,8	2,7	5,6	2,5	3,4
T (cmol _c dm ⁻³)	7,4	7,4	7,5	8,1	7,3	8,2	7,5	6,5
V (%)	11,4	45,6	16,2	84,0	11,0	68,3	7,7	48,2
m (%)	49,7	5,7	57,3	0,0	70,0	0,0	64,5	8,7
S-sulfato (mg dm ⁻³)	5,4	17,4	3,7	4,6	8,9	10,1	5,9	9,8
B (mg dm ⁻³)	0,2	0,2	0,3	0,3	0,1	0,2	0,3	0,3
Cu (mg dm ⁻³)	0,5	2,0	0,3	0,6	0,6	0,5	0,1	1,1
Fe (mg dm ⁻³)	27,2	26,9	44,1	22,6	86,2	46,7	73,6	98,5
Mn (mg dm ⁻³)	3,4	7,5	3,7	7,5	1,2	8,6	3,6	4,5
Zn (mg dm ⁻³)	0,2	4,1	0,3	1,1	0,3	2,0	0,3	1,1
P-remanescente (mg L ⁻¹)	9,8	14,6	15,4	19,9	23,2	36,0	26,7	32,6
Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	32,0	28,0	25,0	25,0	21,0	27,0	25,0	25,0
Areia (g kg ⁻¹)	104	126	380	417	587	464	543	500
Silte (g kg ⁻¹)	326	304	300	253	213	326	327	350
Argila (g kg ⁻¹)	570	570	320	330	200	210	130	150
Ct (g kg ⁻¹)	203,1	242,0	78,7	88,7	28,0	35,2	17,0	21,0
Gb (g kg ⁻¹)	115,9	111,7	11,4	7,0	7,6	5,3	1,9	4,3
Hematita (g kg ⁻¹)	4,7	4,7	2,6	2,7	0,9	1,0	0,6	0,7
Goethita (g kg ⁻¹)	35,1	34,1	5,2	5,7	2,4	3,7	1,1	1,9

LVd1 = Latossolo vermelho textura argilosa, LVd2 = Latossolo vermelho textura média alta, LVAd1 = Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura média e LVAd2 = Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura média baixa. pH em água (H₂O), Ca, Mg, K, P (Mehlich -1), Al, B, Cu, Fe, Mn e Zn e análise granulométrica foram determinados conforme Embrapa (1997); S = de acordo com a metodologia descrita em Raij et al. (2001). H + Al, carbono orgânico e P-resina, conforme Raij et al. (1987), P-remanescente de acordo com Alvarez et al. (2000).

Adubações de cobertura com N e K, foram realizadas de acordo com o crescimento das plantas. Os tratamentos conduzidos nos solos cultivados receberam 300 mg de N e 150 mg de K por dm^3 , enquanto que os solos não cultivados receberam 300 mg de N e 300 mg de K por dm^3 , parcelados em três aplicações.

No início do florescimento do feijoeiro (38 DAP), foi colhida a parte aérea de uma planta de cada parcela. As plantas colhidas foram secas em estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de 60 °C, sendo, posteriormente, trituradas e submetidas à análise química, para determinação dos teores totais de P (Malavolta et al., 1997). Com base nos teores de P e na produção de matéria seca, foi calculado o acúmulo do nutriente na parte aérea. A eficiência de absorção de P foi estimada conforme a expressão: $[(P \text{ absorvido na dose aplicada} - P \text{ absorvido na testemunha}) / \text{dose aplicada}] \times 100$ (Baligar et al., 1990).

As duas plantas restantes foram cultivadas até o final do ciclo (75 DAP), ocasião em que a parte aérea foi colhida, sendo os grãos separados para avaliação da produção. Caules e vagens foram secos em estufa, juntamente com as folhas que senesceram e caíram ao longo do ciclo da cultura, a fim de determinar a produção de matéria seca da parte aérea. Os grãos foram secos em estufa e triturados para determinação do teor de P. A eficiência de utilização de P (EUP) foi obtida de acordo com a expressão: $EUP = [(\text{matéria seca de grãos})^2 / (P \text{ acumulado nos grãos})]$ (Siddiqi & Glass, 1981).

Foi também efetuado o fracionamento (Hedley et al., 1982) e a avaliação da disponibilidade de P no solo, pela resina de troca iônica (Raij et al., 1987) e Mehlich 1 (Embrapa, 1997), cujos detalhes se encontram no capítulo 2, sendo estas frações e o P disponível correlacionados a algumas variáveis da planta pelo índice de correlação de Pearson, utilizando o programa estatístico Sistema para Análises Estatísticas-SAEG versão 9.1 (SAEG, 2007).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância. Foram ajustados modelos de regressão, para a produção de matéria seca da parte aérea, rendimentos de grãos, teor e conteúdo de P, na parte aérea, no florescimento e eficiência de utilização de P, como variáveis dependentes das doses de P, utilizando-se o programa estatístico SISVAR 4.6 (Ferreira, 2000).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Crescimento e absorção de fósforo

Houve interação significativa do histórico de uso e das doses de P sobre a produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) e conteúdo de fósforo na parte aérea no florescimento (CPPA) para a maioria dos solos (Tabelas 15, 17 e 18A).

A produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) obtida no final do ciclo das plantas aumentou de forma linear com a adição de P em todos os solos, sendo influenciada também pelo histórico de uso (Figura 1). Esses resultados demonstram a importância do P para o crescimento do feijoeiro, em relação direta com as doses aplicadas. A quantidade de P fornecida sobrepujou os fatores de solo quanto à influência na resposta das plantas à adubação. Aumentos significativos do peso seco da parte aérea do feijoeiro, em função do aumento de níveis de fósforo no solo, têm sido relatados na literatura (Carvalho et al., 1995; Fageria & Santos, 1998).

Os maiores incrementos de MSPA para cada unidade de P adicionada foram verificados na condição de solo não cultivado, como mostram os coeficientes angulares dos modelos (Figura 1), o que contribuiu para a tendência de equiparação ao crescimento observado na condição de solo já cultivado, à medida em que se aumentam as doses aplicadas nos solos LVd1 e LVAd1. Isso confirma as informações de Raij (1991), de que os efeitos da adubação fosfatada

sobre as culturas são mais visíveis em solos de baixa fertilidade. Por outro lado, de modo geral, a condição de solo cultivado proporcionou maior produção de MSPA, sobretudo na ausência de adubação fosfatada e na menor dose de P (120 mg dm⁻³), exceto no solo LVd2 (Figura 1 B), onde não houve interação entre os fatores manejo e doses de P (Tabela 16A). No entanto, para este solo houve uma maior produção média de MSPA no solo cultivado (11,2 g vaso⁻¹), em relação ao não cultivado (9,8 g vaso⁻¹).

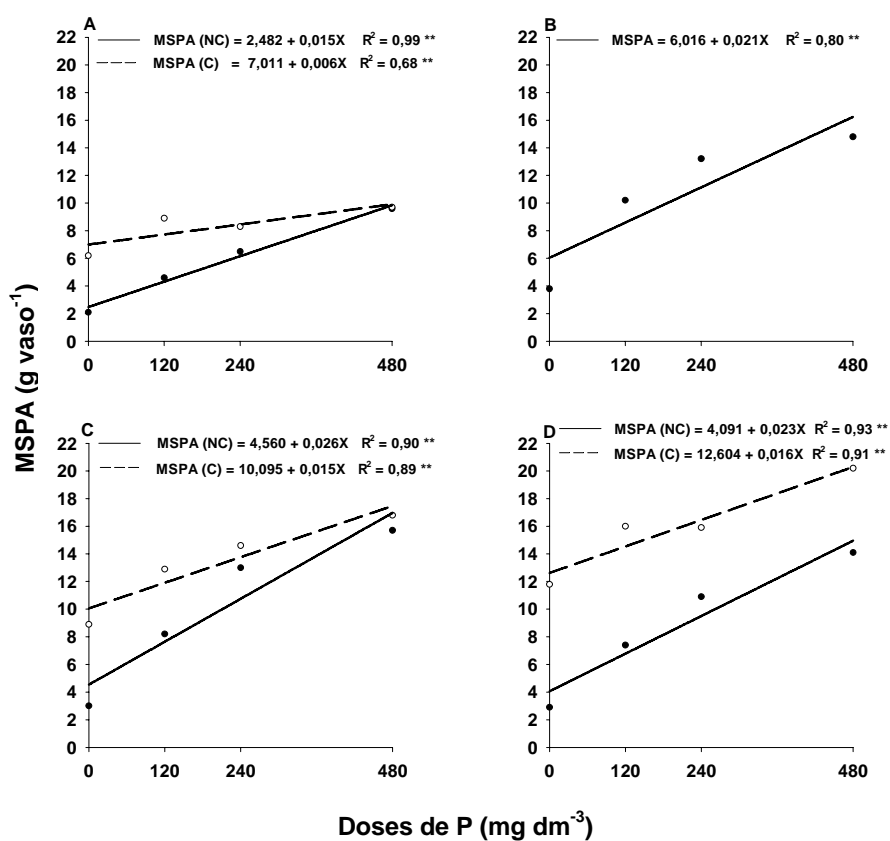


FIGURA 1. Matéria seca da parte aérea no final do ciclo (MSPA) em função das doses de fósforo nos solos LVd1 (A), LVd2 (B), LVAd1 (C) e LVAd2 (D), na condição não cultivado (NC) e cultivado (C).

Todavia, apesar de significativo estatisticamente, a magnitude da diferença obtida nos valores da MSPA entre os históricos de uso para este solo, não teria maior relevância para a interpretação agronômica dos resultados, uma vez que a diferença entre os valores foi de modo geral muito baixa.

O padrão de resposta do feijoeiro quanto ao acúmulo de P no florescimento, dado pelo conteúdo do nutriente na parte aérea (CPPA), também foi dependente das doses de P e do histórico de uso dos solos (Figura 2). Nota-se que houve gradativo acúmulo de P, com as doses fornecidas, com destacado efeito do histórico de uso, especialmente nos dois solos LVA (Figuras 2C e D), para os quais os cultivos e adubações antecedentes favoreceram melhor aproveitamento (absorção) e maior direcionamento do P aplicado ao componente vegetal. É importante considerar que, além das características mineralógicas, a textura menos argilosa desses dois solos pode, também, ter contribuído para tal padrão de resposta, diferente em relação aos solos LV.

Esses resultados confirmam que solos de textura mais leve proporcionam melhor condição de aproveitamento do P pela planta. Em termos de granulometria, os melhores solos para a produção de feijão são aqueles de textura média, como franco-argilosos ou francos (Fageria et al., 2003). De acordo com Silva et al. (2001), a maior concentração de P disponível em solos arenosos está normalmente associada à sua baixa capacidade tampão de fosfato, o que, conseqüentemente, envolve menor fixação do nutriente aplicado e maior absorção pela planta.

O maior acúmulo de P na parte aérea, quando as plantas cresceram em solos já cultivados (Figura 2) é um aspecto agronomicamente relevante, ao indicar que, quando já existe alguma saturação dos componentes consumidores de P no solo, uma porção mais expressiva do nutriente fornecido na adubação subsequente é incorporada pelo vegetal.

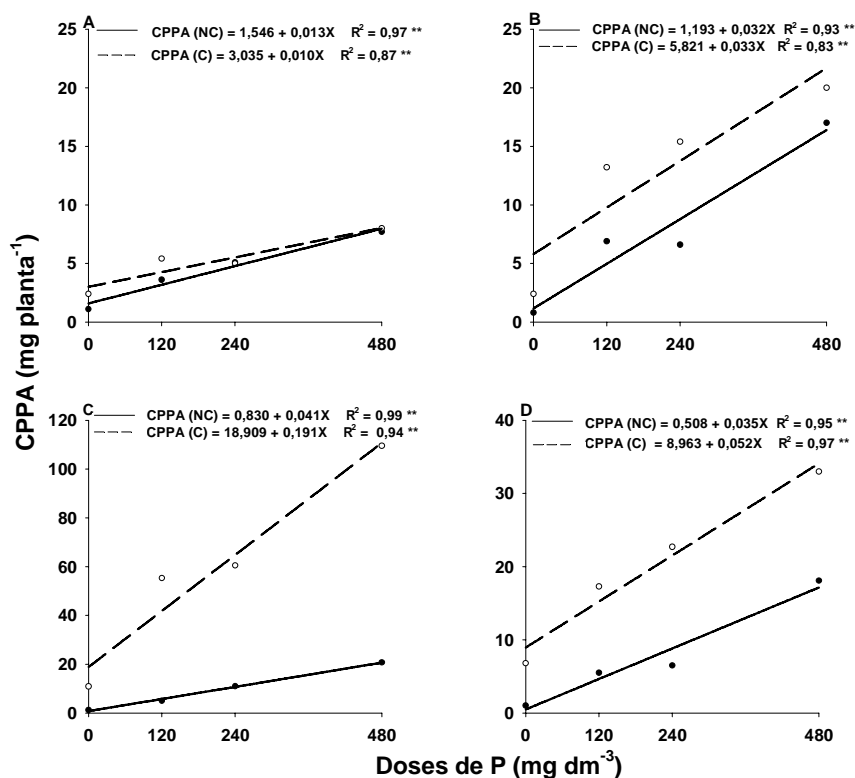


FIGURA 2. Conteúdo de fósforo na parte aérea no florescimento (CPPA) em função das doses de fósforo nos solos LVd1(A), LVd2 (B), LVAd1 (C) e LVAd2 (D), na condição não cultivado (NC) e cultivado (C).

Assim, com o cultivo e adubações sucessivas, passa a haver um enfraquecimento do dreno-solo, com maior favorecimento do dreno-planta (Novais & Smyth, 1999). O cultivo e adubações anteriores contribuirão para aumentar o valor de P-remanescente de cada solo (Tabela 1), o que reflete a redução na capacidade tampão ou fator capacidade de fosfato (FCP).

Embora, a maior parte do P absorvido seja exportada com a colheita dos grãos, é de se esperar que, em longo prazo, o P continuamente incorporado nos

tecidos vegetais e retornado ao solo, via restos culturais, contribua para o enriquecimento relativo das formas orgânicas do nutriente no solo, sobretudo no sistema de plantio direto. Considerando que formas orgânicas parecem participar no suprimento de P às culturas (Sá, 1999; Resende et al., 2006; Santos et al., 2008), é provável que uma eventual redução nas adubações de manutenção, baseadas em tabelas de interpretação de análises de solo de rotina, não tenha maior impacto na produtividade de áreas que vêm sendo cultivadas por longos períodos e sem revolvimento do solo.

5.2 Teor de fósforo no florescimento e produção de grãos

Ocorreu interação significativa do histórico de uso e das doses de P sobre o teor de fósforo no florescimento (teor de P) e produção de grãos (grãos) para todos os solos (Tabelas 15, 16, 17 e 18A).

Com a adubação fosfatada, houve incremento linear do teor de P, na parte aérea, à época do florescimento, para a maioria dos solos avaliados (Figura 3), exceto, o LVd textura argilosa não cultivado (Figura 3A) e o LVd textura média cultivado (Figura 3B), nos quais os teores tenderam a diminuir, a partir da terceira dose, apresentando comportamento quadrático. Em geral, maiores teores na parte aérea foram observados para os solos cultivados em relação aos não cultivados.

Os menores teores de P na parte aérea foram observados nas plantas cultivadas no LVd1 de textura argilosa (Figura 3A), verifica-se que este solo apresenta uma maior proporção de caulinita e óxidos, em relação aos demais solos, o que lhe proporciona expressivo fator capacidade de fósforo (FCP), indicado pelo baixo valor de P-remanescente (Tabela 1). Segundo Motta et al. (2002), a magnitude do fenômeno da adsorção de P depende da natureza e da quantidade de sítios disponíveis na superfície dos minerais, de modo que, em solos deficientes em P e com grande quantidade de argilominerais e óxidos, a

adsorção de P é maior e, para o atendimento da exigência das culturas, são exigidas níveis de adubação fosfatada mais elevados do que para solos mais arenosos.

Contrariamente, teores mais altos do nutriente ocorreram nas plantas cultivadas nos solos LVAd1 e 2 (Figuras 3C e 3D), com menor FCP devido à textura mais grosseira e menor quantidade de óxidos e caulinita (Tabela 1), o que permite maior concentração de P em solução, incrementando o influxo do nutriente na planta. Comportamento semelhante foi observado por Silva et al. (2001), que verificaram maiores teores de P na parte aérea do feijoeiro, em solos com baixos teores de argila.

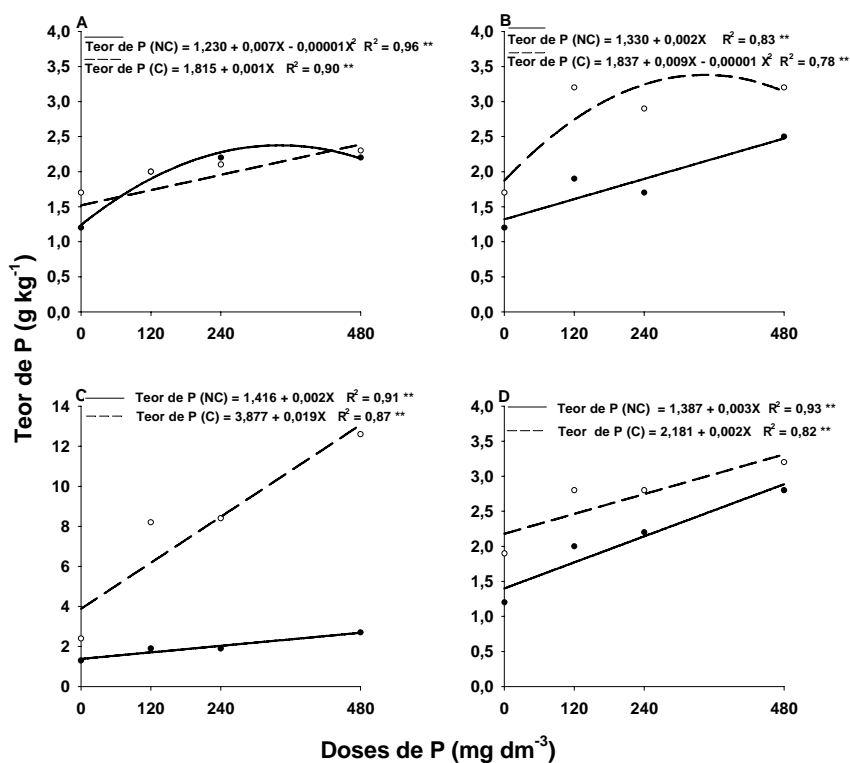


FIGURA 3. Teor de fósforo na matéria seca da planta no florescimento (Teor de P) em função das doses de fósforo nos solos LVd1 (A), LVd2 (B), LVAd1 (C) e LVAd2 (D), na condição não cultivado (NC) e cultivado (C).

A produção de grãos (Figura 4) apresentou comportamento muito semelhante ao obtido para a produção de MSPA, envolvendo respostas ao P com ajustes lineares para todos os solos e históricos de uso. Novamente, as maiores produções estiveram associadas à condição de solo cultivado. A estreita relação entre MSPA e produção de grãos, em função do aumento das doses de P, é um comportamento comum, pois, a adubação fosfatada influencia todos os componentes de produção. Tal situação também foi observada em condições de casa de vegetação por Carvalho et al. (1995) e em campo por Fageria & Santos (1998).

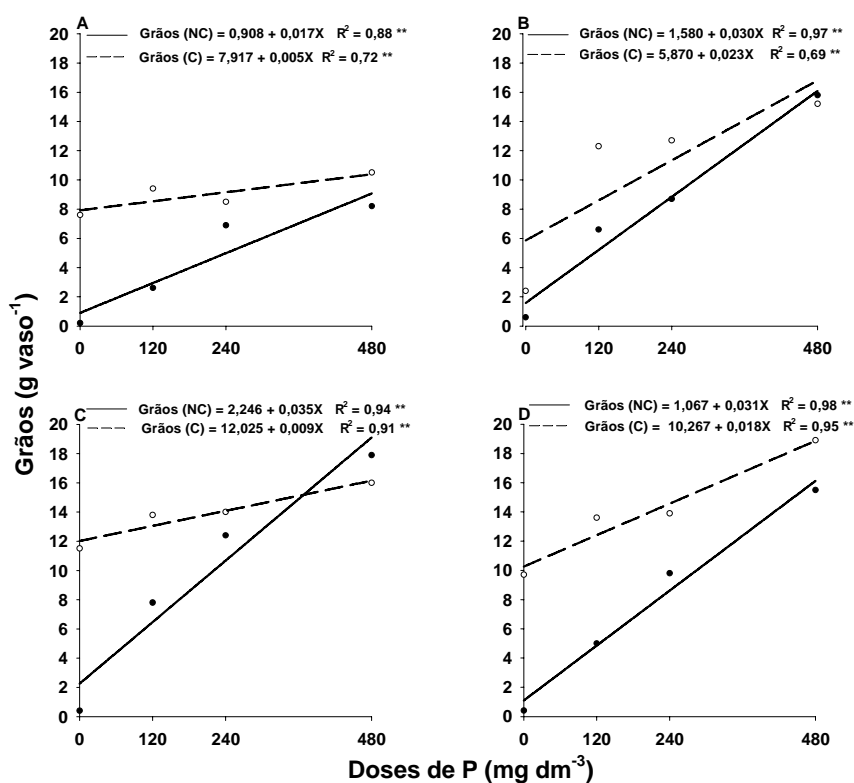


FIGURA 4. Produção de grãos (Grãos) em função das doses de fósforo nos solos LVd1 (A), LVd2 (B), LVAd1 (C) e LVAd2 (D), na condição não cultivado (NC) e cultivado (C).

5.3 Eficiência de absorção e de utilização de fósforo

A interação do histórico de uso e doses de P foi significativa para a eficiência de absorção de fósforo (EAP) e eficiência de utilização de fósforo (EUP) para todos os solos (Tabelas 15, 16, 17 e 18A).

A eficiência de absorção de fósforo (EAP) pelo feijoeiro, que refere-se a % do P aplicado, que foi absorvido e acumulado na MSPA, no florescimento, foi afetada pelas doses crescentes de fósforo e pelo histórico de uso dos solos (Figura 5). Os maiores valores de EAP foram observados para as menores doses de P, havendo uma diminuição da EAP com o aumento da dose fornecida, principalmente nos solos já cultivados (Figura 5).

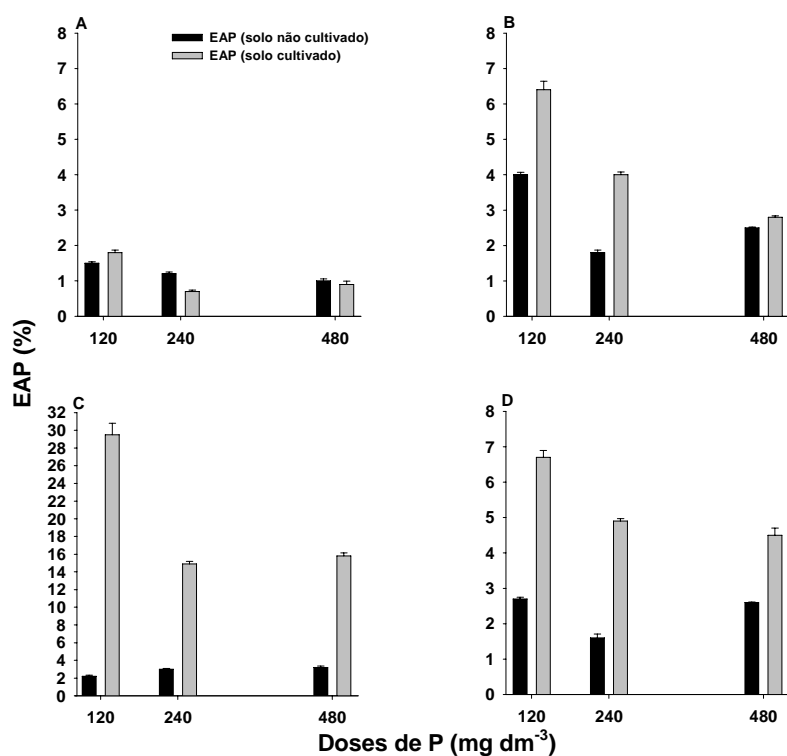


FIGURA 5. Eficiência de absorção de fósforo (EAP) em função das doses de fósforo nos solos LVd1 (A), LVd2 (B), LVAd1 (C) e LVAd2 (D), na condição não cultivado (NC) e cultivado (C).

Estes resultados corroboram aqueles encontrados por Carvalho et al. (1995), para diferentes solos de cerrado. E isso demonstra também que a capacidade de absorção pela planta não foi proporcional à dose aplicada. Entretanto, à exceção do LVd1, a condição de solo cultivado propiciou maior aproveitamento do P em todas as doses fornecidas, especialmente no LVAd1 (Figura 5C).

Nota-se que o comportamento da EAP é inverso ao observado para o acúmulo e teor de P na parte aérea (Figuras 2 e 3) com o aumento da dose de P. De acordo com Lefebvre & Glass (1982), a concentração de P na parte aérea teria um papel central na regulação da taxa de absorção de P por unidade de raiz, de modo que os dois mecanismos sinalizadores, para manter a homeostase de P, seria: um, em nível celular e outro, envolvendo múltiplos órgãos e, provavelmente, da parte aérea (Raghothama, 2000). De acordo com esse autor, em nível celular, o movimento de Pi para dentro e fora do vacúolo e a regulação do influxo e efluxo de P seriam os principais mecanismos para manter a homeostase de P, enquanto a resposta relativa à planta inteira envolveria mecanismos mais complexos. Föhse et al. (1988), avaliando sete diferentes espécies de plantas, enquadraram o feijoeiro como sendo pouco eficiente na absorção de P, devido à pequena razão raiz: parte aérea, baixo influxo e requerimento de P para a produção de biomassa.

Chama atenção a baixa EAP no solo LVd1, que deve estar relacionada à sua maior capacidade de fixação de P, em relação aos outros solos, evidenciada pelo menor valor de P-remanescente (Tabela 1). Segundo Fageria et al. (2003), a eficiência de recuperação do P pela planta do feijão é menor que 10%, em solos de Cerrado, dependendo da dose aplicada. Porém, em compensação, a sua eficiência de uso do P (produção de grãos por unidade de P acumulado na planta) é muito maior do que a de nitrogênio e potássio.

Foram observados aumentos progressivos e substanciais na eficiência de utilização de fósforo (EUP), com o incremento das doses de P para todos os solos na condição não cultivada (Figura 6).

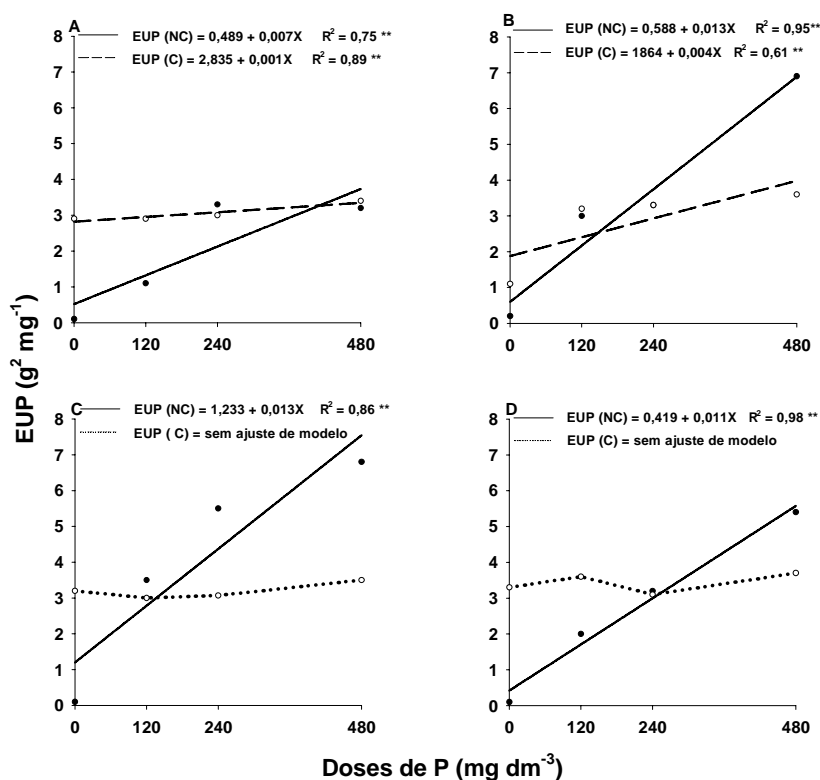


FIGURA 6. Eficiência de utilização de fósforo (EUP), para produção de grãos em função das doses de fósforo nos solos LVd1 (A), LVd2 (B), LVAd1 (C) e LVAd2 (D), na condição não cultivado (NC) e cultivado (C).

Esse comportamento mostra que nos solos adubados pela primeira vez, é muito mais forte a competição do solo com a planta pelo P do fertilizante. Nessa situação, o acúmulo do nutriente pela planta é restringido (Figura 2) e esta é forçada a otimizar o metabolismo, em função da quantidade que consegue

absorver do nutriente. Nota-se que, para a condição de solo já cultivado, quando a disponibilidade inicial de P no solo é mais favorável (Tabela 1) e o feijoeiro consegue absorver maior proporção do nutriente adicionado (Figuras 2 e 5), a EUP não foi tão afetada pelas doses, principalmente nos solos LVAd1 e 2 (Figura 6). Em se tratando da primeira adubação, a quantidade de P absorvida não foi suficiente, para que a planta atingisse sua capacidade metabólica plena, visto que a EUP aumentou linearmente com as doses do nutriente na adubação.

Esses dados estão de acordo com os relatos de Fageria (1992, 1998), de que os valores de EUP geralmente diminuem com o aumento do fornecimento do nutriente para o feijoeiro, devido ao fato de haver um nivelamento de produção, quando a disponibilidade de nutriente no sistema tende à alta, mas continua a ocorrer incremento em teor e conteúdo na planta. Assim, a eficiência de utilização de P é máxima, em situação de menor disponibilidade e mínima, em caso de elevada disponibilidade.

Segundo Araújo (2000), a EUP pode contribuir para minimizar a restrição ao crescimento vegetal, em condições de limitação no suprimento do nutriente. Esse aspecto é confirmado pelos resultados obtidos no presente trabalho, em que, na maior dose de P fornecida, a tendência de equiparação da produção de grãos (Figura 4) entre solo já cultivado (suprimento menos limitante) e solo não cultivado (suprimento mais limitante) muito provavelmente foi condicionada pelas diferenças nos padrões de EUP nos dois casos (Figura 6).

Quanto à relação entre crescimento da planta, absorção de P e produção de grãos com as formas de P no solo, verifica-se que houve uma correlação significativa e positiva dessas variáveis da planta com quase todas as formas de P no solo para os dois históricos de uso (Tabela 2).

TABELA 2. Coeficientes de correlação entre as diversas formas de P com a produção de matéria seca da parte aérea no florescimento (MSPA), conteúdo de fósforo na parte aérea no florescimento (CPPA) e produção de grãos (GRÃOS), nos solos estudados, na condição não cultivada e cultivada.

Variável	Pi bic	Po bic	Pi hid 0,1	P0 hid 0,1	Pi hid 0,5	P0 hid 0,5	P total	P p. lábil	P lábil	P- res.	P- Meh.
LVd1 (não cultivado)											
MSPA	0,97 **	0,96 **	0,97 **	0,91 **	0,96 **	0,61 **	0,94 **	0,97 **	0,97 **	0,95 **	0,94 **
CPPA	0,96 **	0,96 **	0,97 **	0,90 **	0,95 **	0,64 **	0,94 **	0,96 **	0,97 **	0,94 **	0,94 **
GRÃOS	0,92 **	0,97 **	0,91 **	0,80 **	0,92 **	0,82 **	0,85 **	0,90 **	0,96 **	0,88 **	0,86 **
LVd1 (cultivado)											
MSPA	0,66 **	0,79 **	0,72 **	0,79 **	0,75 **	0,61 **	0,70 **	0,81 **	0,76 **	0,77 **	0,68 **
CPPA	0,86 **	0,91 **	0,89 **	0,84 **	0,90 **	0,74 **	0,77 **	0,92 **	0,90 **	0,92 **	0,87 **
GRÃOS	0,72 **	0,71 **	0,70 **	0,63 **	0,71 **	0,51 *	0,56 *	0,74 **	0,77 **	0,74 **	0,69 **
LVd2 (não cultivado)											
MSPA	0,87 **	0,76 **	0,93 **	0,96 **	0,97 **	0,84 **	0,98 **	0,94 **	0,85 **	0,87 **	0,87 **
CPPA	0,95 **	0,84 **	0,97 **	0,96 **	0,91 **	0,99 **	0,83 **	0,97 **	0,95 **	0,96 **	0,95 **
GRÃOS	0,95 **	0,81 **	0,98 **	0,99 **	0,96 **	0,96 **	0,89 **	0,99 **	0,94 **	0,85 **	0,95 **
LVd2 (cultivado)											
MSPA	0,82 **	0,58 **	0,82 **	0,81 **	0,76 **	0,78 **	0,94 **	0,86 **	0,79 **	0,30 ns	0,39 ns
CPPA	0,92 **	0,68 **	0,90 **	0,84 **	0,86 **	0,89 **	0,99 **	0,95 **	0,88 **	0,15 ns	0,24 ns
GRÃOS	0,85 **	0,55 *	0,83 **	0,91 **	0,78 **	0,84 **	0,97 **	0,89 **	0,80 **	0,22 ns	0,30 ns
LVAd1 (não cultivado)											
MSPA	0,90 **	0,87 **	0,95 **	0,03 ns	0,97 **	0,83 **	0,95 **	0,94 **	0,97 **	0,93 **	0,89 **
CPPA	0,99 **	0,69 **	0,99 **	-0,23 ns	0,97 **	0,94 **	0,96 **	0,92 **	0,94 **	0,99 **	0,98 **
GRÃOS	0,94 **	0,82 **	0,97 **	-0,07 ns	0,98 **	0,86 **	0,97 **	0,95 **	0,97 **	0,96 **	0,93 **
LVAd1 (cultivado)											
MSPA	0,84 **	0,68 **	0,84 **	0,55 *	0,82 **	0,66 **	0,84 **	0,76 **	0,80 **	0,86 **	0,80 **
CPPA	0,96 **	0,71 **	0,96 **	0,83 **	0,97 **	0,78 **	0,97 **	0,95 **	0,91 **	0,96 **	0,95 **
GRÃOS	0,89 **	0,65 **	0,89 **	0,73 **	0,92 **	0,82 **	0,91 **	0,89 **	0,85 **	0,90 **	0,87 **
LVdA2 (não cultivado)											
MSPA	0,94 **	0,97 **	0,96 **	0,85 **	0,95 **	0,98 **	0,93 **	0,94 **	0,96 **	0,95 **	0,94 **
CPPA	0,97 **	0,87 **	0,98 **	0,97 **	0,96 **	0,91 **	0,98 **	0,98 **	0,94 **	0,97 **	0,98 **
GRÃOS	0,97 **	0,94 **	0,98 **	0,91 **	0,96 **	0,99 **	0,97 **	0,97 **	0,98 **	0,98 **	0,97 **
LVdA2 (cultivado)											
MSPA	0,89 **	0,46 *	0,92 **	0,33 ns	0,89 **	0,87 **	0,88 **	0,82 **	0,89 **	0,90 **	0,89 **
CPPA	0,94 **	0,40 ns	0,97 **	0,51 *	0,93 **	0,94 **	0,95 **	0,92 **	0,93 **	0,94 **	0,95 **
GRÃOS	0,94 **	0,45 *	0,94 **	0,40 ns	0,93 **	0,90 **	0,92 **	0,84 **	0,93 **	0,92 **	0,93 **

Pi e Po bic = Pi e Po NaHCO_3 0,5M, Pi e Po hid 0,1 e 0,5 = Pi e Po NaOH 0,1 e 0,5M, P-res. = P resina, P-Meh. = P Mehlich 1 e P p. lábil = P pouco lábil. Ns = não-significativo. ** e * = significativo a 1% e a 5% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

De modo geral, as correlações foram mais expressivas para os solos na condição não cultivada, indicando que nessa condição há uma maior dependência entre as variáveis da planta e as diversas formas de P no solo, em relação à condição já cultivada anteriormente. Esse comportamento pode estar ligado a maior deficiência de P nos solos não cultivados anteriormente, condição que potencializa a maioria das formas de P, como fornecedora do P disponível para as plantas.

Nota-se de modo geral, que o efeito das adubações fosfatadas sobre o feijoeiro foi especialmente mais acentuado nos solos não adubados anteriormente, devido a sua baixa fertilidade natural. Respostas acentuadas de culturas a pequenas aplicações de fosfatos solúveis em tal situação são comuns (Raij, 1991). Por outro lado, verifica-se que para os solos na condição cultivada, apesar de haver menor resposta à adição do nutriente em relação à condição não adubada anteriormente, uma dose menor de P tem efeito equivalente a altas doses em áreas não cultivada e este efeito é tão mais intenso, quando maior o tempo de cultivo da área, o que está ligado ao fato de que nessa condição, o solo além de apresentar uma maior quantidade de P disponível, compete menos com a planta pelo P adicionado, proporcionando, assim, uma melhor absorção do nutriente, mesmo com o fornecimento de menores doses.

6 CONCLUSÕES

A adição de doses crescentes de fósforo aos solos promoveu, de modo geral, aumento de todos os componentes relacionados ao crescimento e produção do feijoeiro.

A condição de solo já cultivado potencializou as respostas do feijoeiro à adubação, sobretudo na menor dose de P. Nessa condição, houve melhor

absorção pelas plantas e uma maior proporção do P fornecido foi incorporado pelo componente vegetal.

Em se tratando da primeira adubação, a eficiência de utilização de P aumentou intensamente com as doses de P, o que não ocorreu nos solos já adubados. Isso fez com que, na maior dose, a produção de grãos nos dois casos tendesse à equiparação.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, V.V.H.; NOVAIS, R.F. de; DIAS, L.E.; OLIVEIRA, J.A. de. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 27-32, 2000.
- ANGHINONI, I. Phosphorus forms and availability in brazilian tropical and subtropical soils under management systems. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PHOSPHORUS DYNAMICS IN SOIL-PLANT CONTINUUM, 3., 2006, Uberlândia. **Anais...** Sete Lagoas: EMBRAPA Milho e Sorgo, 2006. p. 13-14.
- ARAUJO, A.P. Eficiência vegetal de absorção e utilização de fósforo, com especial referência ao feijoeiro. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: SBCS, 2000. v. 1, p. 163-212.
- ARAÚJO, A.P.; MACHADO, C.T.T. Fósforo. In: FERNANDES, M.S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 253-280.
- BALIGAR, V.C.; DUNCAN, R.R.; FAGERIA, N.K. Soil plant interaction on nutrient use efficiency in plants: an overview. In: BALIGAR, V.C.; DUNCAN, R.R. **Crops as enhancers of nutrient use**. San Diego: Academic, 1990. p. 351-373.
- CARADUS, J.R. Distinguishing between grass and legume species for efficiency of phosphorus use. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, Wellington, v. 23, n. 1, p. 75-81, Jan./Apr. 1980.
- CARVALHO, A.M. de; FAGERIA, N.K.; OLIVEIRA, I.P. de; KINJO, T. Resposta do feijoeiro à aplicação de fósforo em solos dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 61-67, jan./abr. 1995.
- DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F. de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 92-129.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1997. 212 p.

FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P.; STONE, L.F. Nutrição de fósforo na produção de feijão. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2003, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Potafos/Anda, 2003. 1 CD-ROM.

FAGERIA, N.K. Eficiência de uso de fósforo pelos genótipos de feijão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 2, p. 128-131, 1998.

FAGERIA, N.K. **Maximizing crop yields**. New York: Marcel Dekker, 1992. 274 p.

FAGERIA, N.K.; SANTOS, A.B. Adubação fosfatada para o feijoeiro em solo de várzea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 2, p. 124-127, 1998.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos, SP. **Programa e resumos...** São Carlos: UFScar, 2000. p. 255-258.

FÖHSE, D.; CLAASSEN, N.; JUNGK, A. Phosphorus efficiency of plants. I. External and internal P requirement and P uptake efficiency of different plant species. **Plant and Soil**, v. 110, p. 101-109, 1988.

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

HEDLEY, M.J.; STEWARD, W.B.; CHAUHAN, B.S. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fraction induced by cultivation practices and laboratory incubation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 46, n. 5, p. 970-976, Sept./Oct. 1982.

LEFEBVRE, D.D.; GLASS, A.D.M. Regulation of phosphate influx in barley roots: effects of phosphate deprivation and reduction of influx with provision of orthophosphate. **Plant Physiology**, v. 54, p. 199-206, 1982.

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

MOTTA, P.E.F.; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O.; RAIJ, B.V.; FURTINI NETO, A.E.; LIMA, J.M. Adorção e formas de fósforo em Latossolos: influência da mineralogia e histórico de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 349-359, 2002.

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

PASTORINI, L.H.; BACARIN, M.A.; LOPES, N.F.; LIMA, M.G.S. Crescimento inicial de feijoeiro submetido a diferentes doses de fósforo em solução nutritiva. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 47, n. 270, p. 219-228, 2000.

RAGHOTHAMA, K.G. Phosphate transport and signaling. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 3, p. 182-187, 2000.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, SP: Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. 285 p.

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

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H. **Análise química do solo pra fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargil, 1987. 107 p.

RAIJ, B. van; ROSAND, P.C.; LOBATO, E. Adubação fosfatada no Brasil: apreciação geral, conclusões e recomendações. In: OLIVEIRA, A.J.; LOURENÇO, S.; GOEDERT, W.J. **Adubação fosfatada no Brasil**. Brasília: Embrapa, 1982. p. 9-28.

RESENDE, A.V.; FURTINI NETO, A.E.; ALVES, V.M.C.; MUNIZ, J.A.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KIMPARA, D.I.; SANTOS, J.Z.L.; CARNEIRO, L.F. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 3, p. 453-466, 2006.

SÁ, J.C.M. de. Adubação fosfatada no sistema plantio direto. In: YAMADA, T.; ABDALA, S.R.S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 201-220.

SÁ, J.C.M. de. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.;

FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E.; CARVALHO, J.G. **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Lavras: SBCS, 1999. p. 267-319.

SISTEMA PARA ANÁLISES ESTATÍSTICAS. **Versão 9.1**. Viçosa: Fundação Arthur Bernardes-UFV, 2007.

SANTOS, J.Z.L.; FURTINI NETO, A.E.; RESENDE, A.V.; CURI, N.; CARNEIRO, L.F.; COSTA, S.E.V.G.A. Frações de fósforo em solo adubado com fosfatos em diferentes modos de aplicação e cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 705-714, 2008.

SIDDIQI, M.Y.; GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v. 4, p. 289-302, 1981.

SILVA, E. de B.; RESENDE, J.C.F. de; CINTRA, W.B.R. Resposta do feijoeiro a doses de fósforo em solo arenoso. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 6, p. 973-977, 2001.

SOUSA, D. M.G. de; LOBATO, E.; REIN, A.T. Adubação fosfatada. In: SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Cerrados, 2004. p. 147-168.

SOUSA, D.M.G. de; VILELA, L.; REIN, T.A.; LOBATO, E. Eficiência da adubação fosfatada em dois sistemas de cultivo em um Latossolo de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Informação, globalização, uso do solo...** Rio de Janeiro: SBCS, 1997. 1 CD-ROM.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De modo geral, o maior efeito do histórico de uso nas diferentes frações de fósforo foi observado na condição de solo anteriormente cultivado, principalmente, para as frações inorgânicas de P, confirmando os resultados de pesquisa, que mostram uma maior magnitude de recuperação do P em sistemas adubados, principalmente no compartimento inorgânico, uma vez que o aumento do P_o não acompanha o rápido incremento do P total do solo. No entanto, os resultados do presente trabalho mostraram que a magnitude de um compartimento em relação ao outro depende, também, de outros fatores, como; a textura do solo, mineralogia e da dose de P fornecida. Por outro lado, o P adicionado ao solo para ambos os históricos de uso permaneceu nas frações moderadamente lábeis (P-NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$) e lábeis (P-NaHCO₃ $0,5 \text{ mol L}^{-1}$), principalmente para os solos com menor fator capacidade de P, mostrando que a adição de fósforo em solos com tais características e que apresentam uma baixa perturbação permite uma menor passagem do nutriente para formas menos lábeis, o que pode contribuir para uma redução de adubações futuras, mesmo em solos de Cerrado, que apresentam um alto dreno de P. Além disso, a maior participação do compartimento orgânico e a alta correlação dessas frações orgânicas com as variáveis da planta, tanto nas áreas não cultivadas quanto naquelas cultivadas, reforçam a necessidade de estudos que permitam a sua quantificação, principalmente em sistemas de cultivos, onde há um maior acúmulo de resíduos e naqueles solos de textura mais leve, que apresentaram uma maior atividade da fração orgânica biodisponível.

Finalmente, em relação ao comportamento do feijoeiro, em função da adição de doses crescentes de fósforo, nota-se que a resposta da planta é bastante dependente do fósforo disponível no solo, sendo menos influenciado pelas suas características intrínsecas. Em condições de solo já cultivado anteriormente,

mas com adição recente de P, há uma diminuição da eficiência de absorção do nutriente. No entanto, para uma mesma dose, a condição cultivada proporciona uma maior absorção total de P. Levando-se em conta que a resposta da planta é estreitamente dependente da quantidade absorvida do nutriente, sistemas que permitem uma maior absorção do P, como naqueles solos já cultivados e adubados anteriormente, necessitariam de menores doses de P, para obter os mesmos rendimentos dos solos não cultivados, apesar de haver nestes últimos, uma maior eficiência de utilização do nutriente aplicado, devendo ser estes fatores considerados no manejo da adubação fosfatada.

É provável que, quanto maior o tempo de cultivo sem revolvimento, proporcionalmente maiores devem ser os estoques de P orgânico e de P lábil nos solos. Considerando que estes compartimentos influenciam direta ou indiretamente à resposta das culturas a novas adubações fosfatadas, é importante a busca de métodos analíticos sensíveis à sua presença no solo e que permitam melhor dimensionar a real necessidade de P nas adubações de manutenção, principalmente, com as mudanças no potencial de resposta das culturas obtidas com a evolução e intensidade de cultivo dos solos de Cerrado.

9 ANEXOS

ANEXO A		Página
TABELA 1A	Atributos químicos do Latossólo Vermelho distrófico textura argilosa (LVd1) e Latossólo Vermelho distrófico textura média alta (LVd2), utilizados no experimento, após aplicação dos tratamentos e incubação e antes do plantio do feijão.....	79
TABELA 2A	Atributos químicos do Latossólo Vermelho-Amarelo distrófico textura média (LVAd1) e Vermelho-Amarelo distrófico textura média baixa (LVAd2), utilizados no experimento, após aplicação dos tratamentos e incubação e antes do plantio do feijão.....	80
TABELA 3A	Resumo das análises de variância para as frações de fósforo inorgânico (Pi), fósforo inorgânico total recuperado (Pi total), e fósforo total recuperado (P total Bowman) no solo LVd1, em função do uso e doses de P.....	81
TABELA 4A	Resumo das análises de variância para as frações de fósforo inorgânico (Pi), fósforo inorgânico total recuperado (Pi total), e fósforo total recuperado (P total) no solo LVd2, em função do uso e doses de P.....	81
TABELA 5A	Resumo das análises de variância para as frações de fósforo inorgânico (Pi), fósforo inorgânico total recuperado (Pi total), e fósforo total recuperado (P total) no solo LVAd1, em função do uso e doses de P.....	82
TABELA 6A	Resumo das análises de variância para as frações de fósforo inorgânico (Pi), fósforo inorgânico total recuperado (Pi total), e fósforo total recuperado (P total) no solo LVAd2, em função do uso e doses de P.....	82
TABELA 7A	Resumo das análises de variância para as frações de fósforo orgânico (Po) e fósforo orgânico total recuperado (Po total), no solo LVd1, em função do uso e doses de P.....	83

TABELA 8A	Resumo das análises de variância para as frações de fósforo orgânico (Po) e fósforo orgânico total recuperado (Po total), no solo LVd2, em função do uso e doses de P.....	83
TABELA 9A	Resumo das análises de variância para as frações de fósforo orgânico (Po) e fósforo orgânico total recuperado (Po total), no solo LVAd1, em função do uso e doses de P.....	83
TABELA 10A	Resumo das análises de variância para as frações de fósforo orgânico (Po) e fósforo orgânico total recuperado (Po total), no solo LVAd2, em função do uso e doses de P.....	84
TABELA 11A	Resumo das análises de variância para o P resina e Mehlich e frações de P lábil e pouco lábil no solo LVd1, em função do uso e doses de P.....	84
TABELA 12A	Resumo das análises de variância para o P resina e Mehlich e frações de P lábil e pouco lábil no solo LVd2, em função do usos e doses de P.....	84
TABELA 13A	Resumo das análises de variância para o P resina e Mehlich e frações de P lábil e pouco lábil no solo LVAd1, em função do uso e doses de P.....	85
TABELA 14A	Resumo das análises de variância para o P resina e Mehlich e frações de P lábil e pouco lábil no solo LVAd2, em função do uso e doses de P.....	85
TABELA 15A	Resumo das análises de variância para matéria seca da parte aérea no final do ciclo (MSPA), conteúdo de fósforo na parte aérea no florescimento (CPPA), teor de fósforo na planta no florescimento (Teor de P), produção de grãos (Grãos), eficiência de absorção de fósforo (EAP) e eficiência de utilização de fósforo (EUP) para produção de grãos no solo LVd1, em função do uso e doses de P..	86
TABELA 16A	Resumo das análises de variância para matéria seca da parte aérea no final do ciclo (MSPA), conteúdo de fósforo na parte aérea no florescimento (CPPA), teor de fósforo na planta no florescimento (Teor de P), produção de grãos (Grãos), eficiência de absorção de fósforo (EAP) e eficiência de utilização de fósforo (EUP) para produção de grãos no solo LVd2, em função do uso e doses de P..	86

TABELA 17A	Resumo das análises de variância para matéria seca da parte aérea no final do ciclo (MSPA), conteúdo de fósforo na parte aérea no florescimento (CPPA), teor de fósforo na planta no florescimento (Teor de P), produção de grãos (Grãos), eficiência de absorção de fósforo (EAP) e eficiência de utilização de fósforo (EUP) para produção de grãos no solo LVAd1, em função do uso e doses de P.....	87
TABELA 18A	Resumo das análises de variância para matéria seca da parte aérea no final do ciclo (MSPA), conteúdo de fósforo na parte aérea no florescimento (CPPA), teor de fósforo na planta no florescimento (Teor de P), produção de grãos (Grãos), eficiência de absorção de fósforo (EAP) e eficiência de utilização de fósforo (EUP) para produção de grãos no solo LVAd2, em função do uso e doses de P.....	87

TABELA 1A. Atributos químicos do Latossólo Vermelho distrófico textura argilosa (LVd1) e Latossólo Vermelho distrófico textura média alta (LVd2), utilizados no experimento, após aplicação dos tratamentos e incubação e antes do plantio do feijão.

Doses de P (mg dm ³)	Uso	pH (H ₂ O)	P-Meh.		P-res.			K			Ca		Mg		Al		H+Al		V		P-rem.		M.O	
			mg dm ⁻³		cmolec dm ⁻³			%		mg L ⁻¹		g kg ⁻¹												
LVd1																								
0	NC	5,9	1	1	117	1,3	2,0	0,0	3,3	51	8,7	34,0												
	C	5,6	10	32	189	2,6	1,4	0,0	3,6	55	9,7	29,0												
120	NC	6,0	12	32	121	2,0	2,2	0,0	3,2	55	9,2	35,0												
	C	5,7	23	77	111	2,8	1,3	0,0	3,2	57	12,0	30,0												
240	NC	5,8	36	79	122	2,0	2,2	0,0	3,4	56	9,9	34,0												
	C	5,7	53	100	176	2,9	1,3	0,1	3,4	58	13,0	30,0												
480	NC	6,0	73	131	124	2,3	2,2	0,0	3,6	57	12,0	35,0												
	C	5,7	82	144	176	3,2	1,3	0,1	3,6	57	15,0	30,0												
LVd2																								
0	NC	5,4	1	3	168	1,9	2,5	0,2	3,0	61	14,0	26,0												
	C	6,4	13	8	111	4,4	2,5	0,0	1,6	82	14,0	26,0												
120	NC	5,4	22	41	176	2,1	2,2	0,2	3,4	58	15,0	25,0												
	C	6,7	33	54	112	4,5	2,3	0,0	1,6	81	17,0	26,0												
240	NC	5,4	51	70	173	2,3	2,3	0,2	3,6	58	18,0	26,0												
	C	6,5	60	89	110	4,6	2,5	0,0	1,7	82	19,0	25,0												
480	NC	5,4	122	136	173	2,9	2,4	0,2	3,8	59	22,0	25,0												
	C	6,5	130	157	114	5,1	2,6	0,0	1,9	81	25,0	27,0												

P - res. = P resina, P-Meh. = P Mehlich 1 e M.O. = matéria orgânica. pH em água (H₂O), Ca, Mg, K, P (Mehlich -1) e Al foram determinados conforme Embrapa (1997). H + Al, carbono orgânico e P-resina, conforme Raij et al. (1987), P-remanescente de acordo com Alvarez et al. (2000).

TABELA 2A. Atributos químicos do Latossólo Vermelho-Amarelo distrófico textura média (LVAd1) e Vermelho-Amarelo distrófico textura média baixa (LVAd2), utilizados no experimento, após aplicação dos tratamentos e incubação e antes do plantio do feijão.

Doses de P (mg dm ³)	Uso	pH (H ₂ O)	P-Meh.		P-res.		K	Ca	Mg	Al	H+Al	V	P-rem.	M.O
			mg dm ⁻³		cmolc dm ⁻³									
LVAd1														
0	NC	5,6	1	5	126	1,5	1,7	0,1	3,1	55	24,0	23,0		
	C	5,2	26	27	258	3,4	1,5	0,1	3,4	61	31,0	30,0		
120	NC	5,3	28	33	131	1,8	2,0	0,2	3,0	58	25,0	22,0		
	C	5,2	64	75	255	3,6	1,4	0,0	3,6	62	34,0	28,0		
240	NC	5,3	70	80	128	2,0	2,0	0,1	3,0	58	28,0	24,0		
	C	5,1	110	113	247	3,8	1,5	0,1	3,6	62	37,0	29,0		
480	NC	5,4	149	146	128	2,4	2,3	0,1	3,2	61	34,0	22,0		
	C	5,2	201	188	250	4,3	1,5	0,2	4,0	62	42,0	28,0		
LVAd2														
0	NC	5,5	1	4	115	1,6	2,0	0,2	3,2	50	26,0	24,0		
	C	5,2	11	13	182	2,2	1,1	0,2	2,9	57	25,0	25,0		
120	NC	5,3	29	36	117	1,9	2,1	0,2	3,6	54	28,0	25,0		
	C	5,2	40	51	179	2,4	1,2	0,2	2,9	59	29,0	26,0		
240	NC	5,3	88	80	123	2,1	2,3	0,2	3,6	57	31,0	25,0		
	C	5,2	91	95	187	2,8	1,4	0,2	3,0	61	34,0	25,0		
480	NC	5,3	171	149	121	2,2	2,0	0,2	3,6	56	35,0	27,0		
	C	5,2	181	163	187	3,0	1,3	0,2	3,0	61	39,0	26,0		

P - res. = P resina, P-Meh. = P Mehlich 1 e M.O. = matéria orgânica. pH em água (H₂O), Ca, Mg, K, P (Mehlich -1) e Al foram determinados conforme Embrapa (1997). H + Al, carbono orgânico e P-resina, conforme Raij et al. (1987), P-remanescente de acordo com Alvarez et al. (2000).

TABELA 3A. Resumo das análises de variância para as frações de fósforo inorgânico (Pi), fósforo inorgânico total recuperado (Pi total), e fósforo total recuperado (P total Bowman) no solo LVD1, em função do uso e doses de P.

Fontes de variação	G.L.	QM				
		Pi-NaHCO ₃	Pi - NaOH 0,1M	Pi - NaOH 0,5M	Pi total	P total
Uso	1	2073,7 **	92758,8 **	4323,2 **	171652,6 **	1254777,5 **
Doses	3	6157,1 **	120027,4 **	4621,6 **	242229,6 **	2354615,7 **
Uso x doses	3	213,8 **	415,4 *	7,3 ns	303,8 ns	457223,7 **
Resíduo	24	4,7	100,0	20,6	197,3	421,2
Total	31					
C.V. (%)		5,9	4,5	5,8	4,2	1,6

*, ** e ns = significativo a 5%, 1% e não significativo pelo teste de F.

TABELA 4A. Resumo das análises de variância para as frações de fósforo inorgânico (Pi), fósforo inorgânico total recuperado (Pi total), e fósforo total recuperado (P total) no solo LVD2, em função do uso e doses de P.

Fontes de variação	G.L.	QM				
		Pi-NaHCO ₃	Pi - NaOH 0,1M	Pi - NaOH 0,5M	Pi total	P total
Uso	1	646,1 **	212,4 **	965,8 **	2019,9 **	351666,9 **
Doses	3	11925,4 **	64049,6 **	1447,4 **	155886,4 **	350992,5 **
Uso x doses	3	139,4 **	150,9 **	142,2 **	35,8 **	32773,8 **
Resíduo	24	2,4	23,7	0,5	6,3	339,7
Total	31					
C.V. (%)		3,7	4,0	2,3	1,2	3,8

** = significativo a 1% pelo teste de F.

TABELA 5A. Resumo das análises de variância para as frações de fósforo inorgânico (Pi), fósforo inorgânico total recuperado (Pi total), e fósforo total recuperado (P total) no solo LVAd1, em função do uso e doses de P.

Fontes de variação	G.L.	QM				
		Pi-NaHCO ₃	Pi - NaOH 0,1M	Pi - NaOH 0,5M	Pi total	P total
Uso	1	5176,8 **	47847,9 **	1288,4 **	109903,1 **	700241,5 **
Doses	3	19204,5 **	54499,3 **	562,6 **	15736,4 **	358461,5 **
Uso x doses	3	53,5 **	38,8 ns	9,1 **	74,6 **	6853,9 **
Resíduo	24	4,3	32,8	0,7	8,0	754,6
Total	31					
C.V. (%)		3,3	4,0	3,6	1,2	4,5

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

TABELA 6A. Resumo das análises de variância para as frações de fósforo inorgânico (Pi), fósforo inorgânico total recuperado (Pi total), e fósforo total recuperado (P total) no solo LVAd2, em função do uso e doses de P.

Fontes de variação	G.L.	QM				
		Pi-NaHCO ₃	Pi - NaOH 0,1M	Pi - NaOH 0,5M	Pi total	P total
Uso	1	466,4 **	4280,9 **	322,3 **	11072,9 **	P total
Doses	3	14503,1 **	46201,5 **	318,7 **	127600,6 **	58653,1 **
Uso x doses	3	14,9 *	440,7 **	3,0 **	433,4 **	597322,6 **
Resíduo	24	3,7	19,4	0,5	7,2	11522,8 **
Total	31					303,6
C.V. (%)		4,2	3,8	3,8	1,5	3,4

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

TABELA 7A. Resumo das análises de variância para as frações de fósforo orgânico (Po) e fósforo orgânico total recuperado (Po total), no solo LVd1, em função do uso e doses de P.

Fontes de variação	QM				
	G.L.	Po-NaHCO ₃	Po - NaOH 0,1M	Po - NaOH 0,5M	Po total
Uso	1	2385,1 **	153596,5 **	3149,0 **	239696,8 **
Doses	3	6252,2 **	111542,6 **	9422,1 **	229346,0 **
Uso x doses	3	39,7 *	29594,0 **	794,7 **	21827,3 **
Resíduo	24	13,0	499,7	27,9	111,1
Total	31				
C.V. (%)		6,4	6,0	5,4	2,0

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

TABELA 8A. Resumo das análises de variância para as frações de fósforo orgânico (Po) e fósforo orgânico total recuperado (Po total), no solo LVd2, em função do uso e doses de P.

Fontes de variação	QM				
	G.L.	Po-NaHCO ₃	Po - NaOH 0,1M	Po - NaOH 0,5M	Po total
Uso	1	129,6 **	47999,6 **	4523,7 **	27723,1 **
Doses	3	502,1 **	22972,5 **	3002,8 **	50798,9 **
Uso x doses	3	101,5 **	13031,3 **	338,4 **	6944,2 **
Resíduo	24	5,3	25,0	14,1	18,1
Total	31				
C.V. (%)		15,9	2,8	8,7	1,8

** = significativo a 1% pelo teste de F.

TABELA 9A. Resumo das análises de variância para as frações de fósforo orgânico (Po) e fósforo orgânico total recuperado (Po total), no solo LVAd1, em função do uso e doses de P.

Fontes de variação	QM				
	G.L.	Po-NaHCO ₃	Po - NaOH 0,1M	Po - NaOH 0,5M	Po total
Uso	1	398,8 **	4104,6 **	1330,9 **	14176,7 **
Doses	3	3918,1 **	1307,3 **	162,7 **	13215,5 **
Uso x doses	3	1244,5 **	4725,1 **	15,0 *	8661,7 **
Resíduo	24	36,3	132,9	3,2	12,7
Total	31				
C.V. (%)		10,8	17,1	8,8	2,4

*, ** = significativo 5% e 1% pelo teste de F.

TABELA 10A. Resumo das análises de variância para as frações de fósforo orgânico (Po) e fósforo orgânico total recuperado (Po total), no solo LVAd2, em função do uso e doses de P.

Fontes de variação	QM				
	G.L.	Po-NaHCO ₃	Po - NaOH 0,1M	Po - NaOH 0,5M	Po total
Uso	1	494,5 **	1013,7 **	4619,0 **	6587,2 **
Doses	3	515,8 **	10270,3 **	2060,5 **	27754,8 **
Uso x doses	3	341,9 **	5273,1 **	211,3 **	4853,9 **
Resíduo	24	5,3	80,8	5,2	28,7
Total	31				
C.V. (%)		9,1	8,3	6,4	3,2

** = significativo a 1% pelo teste de F.

TABELA 11A. Resumo das análises de variância para o P resina e Mehlich e frações de P lábil e pouco lábil no solo LVd1, em função do uso e doses de P.

Fontes de variação	QM				
	G.L.	P-resina	P-Mehlich	P-lábil	P-Pouco lábil
Uso	1	4468,2 **	1077,2 **	8047,4 **	590996,5 **
Doses	3	21807,8 **	5686,1 **	23423,4 **	672234,1 **
Uso x doses	3	272,9 **	27,3 **	191,8 **	29281,5 **
Resíduo	24	25,0	4,7	36,2	453,0
Total	31				
C.V.		7,2	7,6	6,5	2,8

LVd1 = Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa. ** = significativo a 1% pelo teste de F. P-lábil = somatório das frações Pi e Po-NaHCO₃; P-pouco lábil = somatório das frações Pi e Po NaOH 0,1 e 0,5 mol L⁻¹.

TABELA 12A. Resumo das análises de variância para o P resina e Mehlich e frações de P lábil e pouco lábil no solo LVd2, em função dos usos e doses de P.

Fontes de variação	QM				
	G.L.	P-resina	P-Mehlich	P-lábil	P-Pouco lábil
Uso	1	1140,7 **	1751,7 **	306,3 **	20194,8 **
Doses	3	24711,8 **	15889,7 **	18223,5 **	242334,7 **
Uso x doses	3	29,3 **	27,5 **	225,0 **	8616,0 **
Resíduo	24	4,3	2,8	22,2	54,2
Total	31				
C.V. (%)		3,3	3,4	8,2	2,0

LVd2 = Latossolo Vermelho distrófico textura média alta. ** = significativo a 1% pelo teste de F. P-lábil = somatório das frações Pi e Po-NaHCO₃; P-pouco lábil = somatório das frações Pi e Po NaOH 0,1 e 0,5 mol L⁻¹.

TABELA 13A. Resumo das análises de variância para o P resina e Mehlich e frações de P lábil e pouco lábil no solo LVAd1, em função do uso e doses de P.

Fontes de variação	G.L.	QM			
		P-resina	P-Mehlich	P-lábil	P-Pouco lábil
Uso	1	8099,5 **	9322,9 **	7197,9 **	117587,0 **
Doses	3	26154,1 **	29079,2 **	37843,7 **	94297,8 **
Uso x doses	3	69,1 **	292,0 **	1122,5 **	3736,2 **
Resíduo	24	5,3	9,4	56,0	155,0
Total	31				
C.V. (%)		3,1	4,5	6,3	4,9

LVAd1 = Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura média. ** = significativo a 1% teste de F. P-lábil = somatório das frações Pi e Po-NaHCO₃; P-pouco lábil = somatório das frações Pi e Po NaOH 0,1 e 0,5 mol L⁻¹.

TABELA 14A. Resumo das análises de variância para o P resina e Mehlich e frações de P lábil e pouco lábil no solo LVAd2, em função do uso e doses de P.

Fontes de variação	G.L.	QM			
		P-resina	P-Mehlich	P-lábil	P-Pouco lábil
Uso	1	57,8 ns	72,9 **	26,4 ns	28559,9 **
Doses	3	21398,8 **	20813,5 **	19665,3 **	132605,2 **
Uso x doses	3	33,3 ns	88,3 **	270,3 **	9627,9 **
Resíduo	24	17,1	5,6	26,7	56,8
Total	31				
C.V. (%)		7,2	4,2	7,3	2,7

LVAd2 = Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura média baixa. ** e ns = significativo a 1% e não significativo pelo teste de F. P-lábil = somatório das frações Pi e Po-NaHCO₃; P-pouco lábil = somatório das frações Pi e Po NaOH 0,1 e 0,5 mol L⁻¹.

TABELA 15A. Resumo das análises de variância para matéria seca da parte aérea no final do ciclo (MSPA), conteúdo de fósforo na parte aérea no florescimento (CPPA), teor de fósforo na planta no florescimento (Teor de P), produção de grãos (Grãos), eficiência de absorção de fósforo (EAP) e eficiência de utilização de fósforo (EUP) para produção de grãos no solo LVd1, em função do uso e doses de P.

Fontes de variação	QM						
	G.L.	MSPA	CPPA	Teor de P	Grãos	EAP	EUP
Uso	1	52,8 **	5,9 **	0,19 **	162,3 **	0,034 **	10,51 **
Doses	3	40,8 **	50,2 **	0,97 **	44,2 **	3,766 **	6,06 **
Uso x doses	3	8,1 **	1,6 **	0,17 **	18,1 **	0,201 **	4,16 **
Resíduo	24	0,4	0,2	0,02	0,3	0,005	0,06 **
Total	31						
C.V. (%)		9,1	9,6	6,4	8,2	8,0	10,0

LVd1 = Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa. ** = significativo 1% pelo teste de F.

TABELA 16A. Resumo das análises de variância para matéria seca da parte aérea no final do ciclo (MSPA), conteúdo de fósforo na parte aérea no florescimento (CPPA), teor de fósforo na planta no florescimento (Teor de P), produção de grãos (Grãos), eficiência de absorção de fósforo (EAP) e eficiência de utilização de fósforo (EUP) para produção de grãos no solo LVd2, em função do uso e doses de P.

Fontes de variação	QM						
	G.L.	MSPA	CPPA	Teor de P	Grãos	EAP	EUP
Uso	1	16,4 **	193,0 **	6,7 **	59,9 **	12,0 **	2,5 **
Doses	3	188,7 **	380,7 **	3,0 **	270,2 **	36,2 **	28,8 **
Uso x doses	3	2,5 ns	21,1 **	0,3 **	14,9 **	3,2 **	7,1 **
Resíduo	24	1,0	0,3	0,007	0,6	0,02	0,03
Total	31						
C.V. (%)		9,8	5,6	3,7	8,7	5,6	6,0

LVd2 = Latossolo Vermelho distrófico textura média alta. ** e ns = significativo a 1% e não significativo pelo teste de F.

TABELA 17A. Resumo das análises de variância para matéria seca da parte aérea no final do ciclo (MSPA), conteúdo de fósforo na parte aérea no florescimento (CPPA), teor de fósforo na planta no florescimento (Teor de P), produção de grãos (Grãos), eficiência de absorção de fósforo (EAP) e eficiência de utilização de fósforo (EUP) para produção de grãos no solo LVAd1, em função do uso e doses de P.

Fontes de variação	QM						
	G.L.	MSPA	CPPA	Teor de P	Grãos	EAP	EUP
Uso	1	87,8 **	19674,8 **	281,1 **	142,3 **	1339,8 **	4,8 **
Doses	3	158,7 **	4701,9 **	44,7 **	171,4 **	340,3 **	17,6 **
Uso x doses	3	11,3 **	2087,8 **	26,5 **	63,2 **	248,9 **	15,9 **
Resíduo	24	0,5	11,6	0,1	0,4	0,5	0,01
Total	31						
C.V. (%)		6,1	9,9	7,3	5,7	8,3	3,4

LVAd1 = Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura média. ** = significativo a 1% pelo teste de F.

TABELA 18A. Resumo das análises de variância para matéria seca da parte aérea no final do ciclo (MSPA), conteúdo de fósforo na parte aérea no florescimento (CPPA), teor de fósforo na planta no florescimento (Teor de P), produção de grãos (Grãos), eficiência de absorção de fósforo (EAP) e eficiência de utilização de fósforo (EUP) para produção de grãos no solo LVAd2, em função do uso e doses de P.

Fontes de variação	QM						
	G.L.	MSPA	CPPA	Teor de P	Grãos	EAP	EUP
Uso	1	407,5 **	1189,2 **	3,4 **	323,3 **	42,7 **	4,7 **
Doses	3	398,8 **	644,8 **	2,8 **	206,1 **	33,1 **	11,0 **
Uso x doses	3	21,9 **	42,8 **	0,04 *	18,6 **	6,3 **	9,0 **
Resíduo	24	18,1	4,3	0,01	0,6	0,03	0,02
Total	31						
C.V. (%)		7,0	14,9	4,3	7,4	5,8	5,1

LVAd2 = Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura média baixa. *, ** = significativo a 5%, 1% pelo teste de F.