

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
Centro Universitário de Dourados

**AVALIAÇÃO DE EXTRATORES DE FÓSFORO
DISPONÍVEL EM DOIS LATOSSOLOS
DO MATO GROSSO DO SUL**

WILLIAM MARRA SILVA

Dourados
Mato Grosso do Sul
1997

**AVALIAÇÃO DE EXTRATORES DE FÓSFORO DISPONÍVEL EM
DOIS LATOSSOLOS DO MATO GROSSO DO SUL**

WILLIAM MARRA SILVA
Engenheiro Químico

Orientador: Dr. AMOACY CARVALHO FABRÍCIO

Dissertação Apresentada à Universidade Federal
de Mato Grosso do Sul, como Parte das
Exigências do Curso de Pós-Graduação em
Agronomia, para Obtenção do Título de Mestre.

Dourados
Mato Grosso do Sul
1997

SILVA, W.M. Avaliação de extratores de fósforo disponível em dois latossolos do Mato Grosso do Sul.
Dourados: UFMS, 1997. Xv, 74p. ilustr. Tese Mestrado-Agronomia.

1.Solo-Fósforo-Extração-Método-Avaliação-Brasil-Mato Grosso do Sul.2.Solo-Química.I.Título.

CDD 631.41

Avaliação de extratores de fósforo disponível em dois
latossolos do Mato Grosso do Sul

por

William Marra Silva

**Dissertação apresentada como parte dos requisitos
exigidos para obtenção do título de
MESTRE EM AGRONOMIA**

Aprovado em: 15/05/97



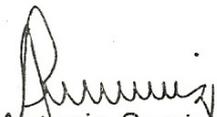
Dr. Amoacy Carvalho Fabricio
Orientador
EMBRAPA-CPAO



Prof^a. Dr^a. Marlene Estevão Marchetti
Co-orientadora
UFMS/DCA/CEUD



Prof. Dr. Manoel Carlos Gonçalves
UFMS/DCA/CEUD



Prof. Dr. Antonio Saraiva Muniz
Universidade Estadual de Maringá

DEDICO

À MARIA DE FÁTIMA

esposa carinhosa, amiga e companheira, que esteve presente em todos os momentos de alegria e tristeza, dificuldade e prazer, incentivou-me nessa conquista com sua solidariedade e grandeza de espírito.

À PRISCILA E WILLIAM JÚNIOR

queridos filhos, razão maior e fundamental de minha vida e inspiração superior para o esforço desenvolvido na elaboração deste trabalho

Aos meus pais Juvenil Arnaldo e Odete, que mesmo com dificuldades e sacrifício investiram na educação de seus filhos, e com carinho e dedicação conduziram-me para os ideais da honestidade e moral.

OFEREÇO

Aos meus irmãos

Arnaldo Cleber e Gilberto

À Tia Vilma

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter dado saúde, força e determinação para cumprir mais esta etapa de minha vida.

Ao Dr. Amoacy Carvalho Fabricio, Pesquisador da EMBRAPA-CPAO, pela orientação, apoio e amizade com que sempre me distinguiu.

À Professora Dra Marlene Estevão Marchetti, pela amizade, ensinamentos, apoio, determinação e seriedade na co-orientação para a condução do experimento.

Ao colega Carlos Hissao Kurihara, pela amizade, apoio colaboração e sugestões durante o curso e realização do trabalho.

Ao Professor José Oscar Novelino, pelos ensinamentos, colaboração na discussão metodológica e realização das análises de laboratório deste trabalho.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Centro de Pesquisa Agropecuária do Oeste (CPAO), pela oportunidade e apoio para a realização do Curso de Pós-Graduação.

À Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), pela realização do curso.

À coordenadora do Curso de Pós-Graduação, Dra. Maria do Carmo Vieira Heredia, pelo apoio e dedicação.

Ao Professor Dr. Manoel Carlos Gonçalves, pela atenção e auxílio nas análises estatísticas.

Aos docentes do Curso de Pós-Graduação, pela amizade e ensinamentos ministrados.

Aos Pesquisadores e colegas da Área de Solos da EMBRAPA-CPAO, pela colaboração.

Aos colegas do Laboratório de Solos da EMBRAPA-CPAO, pelo auxílio durante a realização das análises de laboratório e na execução deste trabalho.

Aos colegas da Biblioteca da EMBRAPA-CPAO, pela prestatividade e apoio durante a realização do curso.

À Liliane Aico Kobayashi e demais colegas do Curso de Pós-Graduação, pela amizade, apoio e colaboração durante o curso e realização do trabalho.

Ao colega Dr. Fernando de Assis Paiva, pela tradução do resumo em Inglês.

Aos colegas e funcionários da EMBRAPA-CPAO, pela contribuição e incentivo para a realização deste trabalho.

Aos funcionários do Núcleo de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

À Eliete do Nascimento Ferreira, pela diagramação deste trabalho.

A todos aqueles que contribuíram de uma forma ou de outra para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

William Marra Silva, filho de Juvenil Arnaldo Alves da Silva e Odete Marra Alves da Silva, nasceu em Uberlândia, Estado de Minas Gerais, aos 07 de Maio de 1953.

Em agosto de 1979, formou-se em Engenharia Química pela Universidade Federal de Uberlândia.

Em abril de 1980, foi admitido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), na então Unidade de Execução de Pesquisa de Âmbito Estadual de Dourados (UEPAE), localizada em Dourados, MS, atual Centro de Pesquisa Agropecuária do Oeste (CPAO).

Nessa unidade da EMBRAPA, iniciou suas atividades no Laboratório de Solos, onde foi o responsável pelo planejamento, estruturação e implantação do mesmo.

Em agosto de 1994, iniciou o Curso de Pós-Graduação, ao nível de mestrado, em Agronomia, área de concentração “Produção Vegetal”, na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, em Dourados, MS.

SUMÁRIO

	PÁGINA
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xi
RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. Aspectos gerais sobre o fósforo.....	4
2.2. Formas de ocorrência de P e sua dinâmica no solo.....	5
2.3. Comportamento de fosfatos naturais no solo.....	9
2.4. Avaliação da disponibilidade de fósforo para as plantas.....	13
2.4.1. Classificação dos métodos de extração de fósforo.....	15
2.4.1.1. Soluções diluídas de ácidos fortes.....	16
2.4.1.2. Soluções diluídas de ácidos fortes mais íons complexantes.....	16
2.4.1.3. Soluções diluídas de ácidos fracos.....	16
2.4.1.4. Soluções alcalinas tamponadas.....	17
2.4.1.5. Resina Trocadora de Ânions	17
2.4.2. Escolha de métodos: critérios e comparações.....	17
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1. Caracterização dos solos.....	25
3.2. Instalação e condução do experimento.....	27
3.3. Extração e determinação de fósforo.....	29
3.4. Características avaliadas.....	30

3.5. Delineamento Experimental e Análises Estatísticas	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
4.1. Comparação dos fosfatos empregados.....	32
4.1.1. Matéria seca da parte aérea.....	35
4.1.2. Acúmulo de fósforo da parte aérea.....	39
4.1.3. Altura de plantas.....	42
4.1.4. Número de folhas trifolioladas.....	44
4.2. Relação entre as características de crescimento do feijoeiro	44
4.3. Avaliação da eficiência dos extratores.....	46
4.3.1. Teor de fósforo nos solos.....	46
4.3.2. Correlação entre as quantidades de P extraído e as respostas do feijoeiro, considerando as fontes de P utilizadas.....	52
4.3.3. Coeficientes de correlação entre as quantidades de P extraído e as respostas do feijoeiro, considerando os tipos de solos.....	55
4.3.4. Coeficientes de correlação entre as quantidades de P extraído e as respostas do feijoeiro, considerando o experimento no geral.....	58
4.3.5. Coeficientes de correlação entre os teores de P extraído pelos métodos Mehlich 1, Mehlich 3 e Resina trocadora de íons, em cada solo e geral.....	60
5. CONCLUSÕES.....	63
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64

LISTA DE TABELAS

	PÁGINA
TABELA 1. Atributos químicos e físicos das amostras dos solos utilizados no experimento. Dourados, MS. 1997.....	26
TABELA 2. Resumo da análise de variância relativo a matéria seca da parte aérea (MSPA), fósforo acumulado na parte aérea (ACPA), a altura de plantas (ALP) e número de folhas trifolioladas (NFT) do feijoeiro. Dourados, MS. 1997.....	33
TABELA 3. Produção de matéria seca da parte aérea (MSPA), acúmulo de fósforo da parte aérea (ACPA), altura de plantas (ALP) e número de folhas trifolioladas (NFT) para o feijoeiro, em função de fontes e doses de fósforo, no Latossolo Vermelho-Escuro álico (LEa) e Latossolo Roxo álico (LRa), médias de quatro repetições. Dourados, MS. 1997.	34
TABELA 4. Coeficientes de correlação entre o número de folhas trifolioladas (NFT), a matéria seca da parte aérea (MSPA), o acúmulo de fósforo na parte aérea (ACPA) e a altura de plantas (ALP) para o feijoeiro, avaliados em função de cada solo e geral. Dourados, MS. 1997.....	46
TABELA 5. Resumo da análise de variância para os teores de fósforo pelos extratores Mehlich 1 (M1), Mehlich 3 (M3) e Resina (R), em amostras de solos coletadas após a colheita do feijoeiro. Dourados, MS. 1997.....	47
TABELA 6. Fósforo extraído pelos métodos Mehlich-1, Mehlich-3 e Resina Trocadora de Íons, em amostras dos solos Latossolo Vermelho-Escuro álico (LEa) e Latossolo Roxo álico (LRa), após o corte das plantas de feijão (médias de quatro repetições). Dourados, MS. 1997.....	48

TABELA 7.	Coeficientes de correlação entre os teores de P no solo, extraídos pelos métodos Mehlich 1, Mehlich 3 e Resina Trocadora de Íons, e altura de plantas (ALP), número de folhas trifolioladas (NFT), matéria seca da parte aérea (MSPA) e acúmulo de fósforo na parte aérea (ACPA) do feijoeiro, para fontes de fósforo. Dourados, MS. 1997.....	54
TABELA 8.	Coeficientes de correlação entre os teores de P no solo, extraídos pelos métodos de Mehlich 1, Mehlich 3 e Resina Trocadora de Íons, e altura de plantas (ALP), número de folhas trifolioladas (NFT), matéria seca da parte aérea (MSPA) e acúmulo de fósforo na parte aérea (ACPA) do feijoeiro, para os solos utilizados. Dourados, MS. 1997.	56
TABELA 9.	Coeficientes de correlação geral entre os teores de P no solo, extraídos pelos métodos de Mehlich 1, Mehlich 3 e Resina Trocadora de Íons, e altura de plantas (ALP), número de folhas trifolioladas (NFT), matéria seca da parte aérea (MSPA) e acúmulo de fósforo na parte aérea (ACPA) do feijoeiro. Dourados, MS. 1997.....	59
TABELA 10.	Coeficientes de correlação entre os teores de P extraído pelos diferentes métodos nos dois solos. Dourados, MS. 1997.....	62

LISTA DE FIGURAS

	PÁGINA
FIGURA 1. Curvas de resposta de matéria seca da parte aérea do feijoeiro, em função das doses de fósforo de diferentes fontes, no Latossolo Vermelho-Escuro álico. Dourados, MS. 1997.....	38
FIGURA 2. Curvas de resposta de matéria seca da parte aérea do feijoeiro, em função das doses de fósforo de diferentes fontes, no Latossolo Roxo álico. Dourados, MS. 1997.....	38
FIGURA 3. Curvas de resposta de acúmulo de fósforo na parte aérea do feijoeiro, em função das doses de fósforo de diferentes fontes, no Latossolo Vermelho-Escuro álico. Dourados, MS. 1997.....	41
FIGURA 4. Curvas de resposta de acúmulo de fósforo na parte aérea do feijoeiro, em função das doses de fósforo de diferentes fontes, no Latossolo Roxo álico. Dourados, MS. 1997.....	41
FIGURA 5. Curvas de resposta de altura de plantas do feijoeiro, em função das doses de fósforo de diferentes fontes, no Latossolo Vermelho-Escuro álico. Dourados, MS. 1997.....	43
FIGURA 6. Curvas de resposta de altura de plantas do feijoeiro, em função das doses de fósforo de diferentes fontes, no Latossolo Roxo álico. Dourados, MS. 1997.....	43
FIGURA 7. Curvas de resposta de número de folhas trifolioladas do feijoeiro, em função das doses de fósforo de diferentes fontes, no Latossolo Vermelho-Escuro álico. Dourados, MS. 1997.....	45
FIGURA 8. Curvas de resposta de número de folhas trifolioladas do feijoeiro em função das doses de fósforo de diferentes fontes, no Latossolo Roxo álico. Dourados, MS. 1997.....	45

AVALIAÇÃO DE EXTRATORES DE FÓSFORO DISPONÍVEL EM DOIS LATOSSOLOS DO MATO GROSSO DO SUL

Autor: William Marra Silva

Orientador: Dr. Amoacy Carvalho Fabricio

RESUMO

Com o objetivo de avaliar a disponibilidade de fósforo em dois latossolos (Latossolo Vermelho-Escuro álico e Latossolo Roxo álico) do Mato Grosso do Sul tratados com fontes de P de diferentes solubilidades, bem como avaliar a eficiência destas fontes, foi conduzido um experimento em vasos, em casa de vegetação, com três fontes de fósforo (superfosfato triplo, fosfatos naturais de Araxá e de Gafsa), em cinco doses de P (0, 50, 150, 450 e 600 mg P.kg⁻¹ de solo). Os tratamentos foram arrançados no esquema fatorial 5x3x2, e aplicados no delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições.

Utilizou-se o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) como planta-teste e avaliaram-se a produção de matéria seca da parte aérea, fósforo acumulado na parte aérea, altura de plantas e número de folhas trifolioladas. Os dados referentes as características avaliadas para o feijoeiro foram correlacionados com os teores de P no solo extraídos pelos métodos de Mehlich 1, Mehlich 3 e Resina Trocadora de Íons, o que permitiu determinar o extrator mais eficiente.

Os resultados mostraram que os melhores rendimentos de matéria seca e fósforo acumulado na parte aérea foram obtidos nos tratamentos com superfosfato triplo, e o fosfato de Araxá foi a fonte menos eficiente em ambos os solos. No solo LRa houve maior ação solubilizadora dos fosfatos Araxá e Gafsa.

O método Mehlich 1 mostrou-se inadequado em estimar o fósforo disponível para as plantas, nos tratamentos com fosfatos de Araxá e Gafsa, e os

métodos da resina e Mehlich 3 foram mais sensíveis as variações de solos. O método da resina independentemente da fonte de fósforo utilizada, apresentou as melhores correlações com as características das plantas avaliadas, mostrando-se mais adequado em estimar o P disponível em diferentes condições de solos e fontes de fósforo.

EVALUATION OF AVAILABLE PHOSPHORUS EXTRACTORS USING TWO LATOSOLS FROM MATO GROSSO DO SUL STATE

Autor: William Marra Silva

Adviser: Dr. Amoacy Carvalho Fabricio

ABSTRACT

With the objective of evaluating phosphorus availability in two Mato Grosso do Sul State latosols (high aluminum Red-Dark Latosol and high aluminum Red-Dusky Latosol), both treated with P sources of different solubility and to evaluate the efficiency of these P sources, one greenhouse experiment was carried out. The three P sources were triple superphosphate, Araxá natural phosphate and Gafsa natural phosphate, all in five dosages: 0, 50, 150, 450, and 600 mg P.kg⁻¹ of soil. The experiment was a randomized 5x3x2 factorial, replicated four times.

Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) was used as test plant and the yield of dry matter in the above ground plant parts, the accumulated P in the above ground parts, plant heights and number of trifoliolate leaves were evaluated. The data of these evaluations were correlated with those of extracted P using Mehlich 1, Mehlich 3, and Ion Exchange Resin methods, to determine the most efficient extractor.

The results showed that the best dry matter yield and accumulated P in the above ground parts were those obtained with triple superphosphate. The Araxá natural phosphate was inefficient as P source for the bean plant in both soils. In the high aluminum Red-Dusky Latosol there was a higher solubility of Araxá and Gafsa natural phosphates.

The Mehlich 1 method was not suitable for estimating P in the soil amended with Araxá and Gafsa natural phosphates. The resin and Mehlich 3 were more sensitive to the soil type variations. The resin method showed the best correlation with the plant characteristics, thus showing to be the most suitable in forecasting the available P in different soils and P sources.

1. INTRODUÇÃO

A conscientização de que o desenvolvimento da atividade agropecuária e a recuperação de áreas degradadas só será possível com a utilização racional e adequada de tecnologias, tem crescido entre os produtores rurais do estado do Mato Grosso do Sul. Esse processo inclui a utilização de espécies vegetais com maior potencial produtivo e responsividade aos corretivos e fertilizantes a serem adicionados ao processo de exploração e recuperação do solo, de forma a maximizar o retorno econômico e conservar os atributos do solo.

No Mato Grosso do Sul, dentre as áreas com potencial de exploração agrícola, os latossolos cobrem aproximadamente 12 milhões de hectares ou 34,75 % da área total do Estado. Dentro desse grupo, o Latossolo Vermelho-Escuro (LE) representa 23,34 % (8,1 milhões de ha) e o Latossolo Roxo (LR) 10,77 % (3,7 milhões de ha). Esses solos caracterizam-se por serem altamente intemperizados, profundos e por apresentarem, de modo geral, alta capacidade de fixação de fósforo, elevada saturação de alumínio, baixa capacidade de retenção de água e de troca catiônica e quase sempre deficientes em nutrientes (EMBRAPA, 1976; Lopes, 1984).

A carência de fósforo em solos tropicais, associada à sua baixa mobilidade e alta afinidade por minerais de ferro e alumínio no solo faz com que o mesmo

seja o nutriente mais utilizado em adubação.

A avaliação do fósforo disponível em solos é um assunto que tem merecido especial atenção da pesquisa em todo o mundo. No Brasil, estudos em diferentes condições de solo e cultura têm demonstrado a complexidade do elemento nos solos. Os métodos utilizados na análise de fósforo no solo são classificados de acordo com os reagentes utilizados, onde o elemento é removido da fase sólida do solo por ação solvente de ácidos, por substituição de ânions, ou por complexação ou hidrólise de cátions combinados com fósforo. No Brasil, o método de extração mais utilizado é o Mehlich 1, com exceção dos laboratórios do estado de São Paulo e de alguns outros Estados, que empregam resinas de troca iônica.

Os extratores ácidos (como o Mehlich 1) quando utilizados em solos que receberam fosfatos naturais de baixa reatividade, e pelo fato de dissolverem resíduos de fosfatos, que não estão prontamente disponíveis para as plantas, apresentam teores mais elevados de fósforo. Nos Latossolos Roxos, os extratores ácidos estão associados à obtenção de resultados excessivamente baixos para solos que vêm sendo adubados com fosfatos solúveis e nos quais as culturas não respondem à adubação fosfatada. Apesar dos inconvenientes citados, os extratores ácidos apresentam como grande vantagem para uso rotineiro em laboratório, o fato de possibilitarem extratos límpidos e facilidade de execução de análise, devido à velocidade de decantação das suspensões ser maior, o que permite a eliminação do processo de filtração.

O método da Resina Trocadora de Íons apesar de ser mais trabalhoso, apresenta melhor correlação com respostas à adubação fosfatada, analogia com extração da planta muito superior aos outros métodos, além do aspecto positivo de não incluir nenhum agente químico de ação específica sobre os fosfatos do solo.

Em virtude do exposto, realizou-se o presente estudo, com o objetivo de avaliar a disponibilidade de fósforo por diferentes extratores (Mehlich 1, Mehlich 3 e Resina de Troca Iônica) em dois solos: Latossolo Roxo e Latossolo

Vermelho-Escuro, submetidos a aplicações de fontes e doses de fosfato e sua relações com a produção de matéria seca da parte aérea, o fósforo acumulado na parte aérea, número de folhas trifolioladas e altura de plantas, utilizando como planta teste o feijoeiro.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Aspectos gerais sobre o fósforo

O fósforo é um elemento essencial para a vida das plantas, tendo como principal função o armazenamento e a transferência de energia, refletindo em maior taxa fotossintética e na absorção iônica ativa, condicionando o aumento da produção ao acúmulo de carboidratos nos tecidos. O fósforo requerido para o ótimo crescimento das plantas varia, de 1 a 5 g.kg⁻¹ na matéria seca, dependendo da espécie e do órgão analisado. De maneira geral, sua exigência pelas plantas é menor que a de N, K, Ca e Mg, igualando-se à do S. A sua carência se reflete no menor crescimento das plantas, e por ser um elemento móvel, que se redistribui facilmente na planta, os sintomas de deficiência, inicialmente, ocorrem nas folhas mais velhas. Estas podem mostrar uma cor amarelada, pouco brilho, cor-verde-azulada e em algumas espécies pode ocorrer uma tonalidade arroxeada, como por exemplo no milho (Malavolta *et al.*, 1989; Faquin, 1994).

Não obstante, a menor extração pelas plantas trata-se do nutriente mais usado em adubação no Brasil. Nas regiões tropicais e subtropicais, como é o caso do Brasil, é o elemento cuja falta no solo mais freqüentemente limita a produção. Além da carência de P na maioria dos solos brasileiros, o elemento apresenta forte interação com o solo, o que reduz a eficiência da adubação fosfatada.

A avaliação da disponibilidade de fósforo do solo para várias culturas é feita na prática com extratores químicos, visando aferir a necessidade de adubação fosfatada, embora existam alguns pesquisadores que não acreditam que essa medida seja suficiente para chegar-se à recomendação mais adequada (Novais & Kramprath, 1979; Muniz *et al.*, 1987).

O estabelecimento de dose ótima de fertilizantes podem ser realizados em duas etapas: mediante ensaios de laboratório e em casa de vegetação, selecionando os métodos de extração mais convenientes, e através de experimentação à campo, visando estabelecer níveis de adubação para as culturas. Esses ensaios são muito utilizados para a determinação de fósforo disponível, mas o tema é complexo, pois estudos em diferentes condições de solo e cultura têm demonstrado a complexidade do elemento em solos, onde o mesmo encontra-se sob várias formas e com uma forte interação físico-química com a fase sólida.

2.2. Formas de ocorrência de P e sua dinâmica no solo

Na solução do solo, na faixa de pH de 4,5 a 5,5, os teores de fósforo são geralmente baixos, onde predominam as formas H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} , as quais são absorvidas pelas plantas. A forma H_2PO_4^- , por ser monovalente o que a faz absorvível mais rapidamente que a outra, divalente, e por encontrar-se preferencialmente presente em valores menores de pH, sofre menor competição com a OH^- . Com o aumento do pH, há um pequeno mas gradual aumento da forma iônica PO_4^{3-} (Novais *et al.*, 1993).

Na fase sólida do solo, o fósforo na forma de ortofosfato (PO_4^{3-}), encontra-se combinado, em sua maior parte, com compostos de ferro, alumínio e cálcio, e na matéria orgânica. A participação relativa das diferentes formas de fósforo pode ser avaliada através do auxílio de soluções capazes de remover formas determinadas do elemento. No estudo das transformações e separação das formas

de P no solo, tem sido utilizada a extração seletiva por vários reagentes, conhecida como fracionamento de P (Chang & Jackson, 1957). O princípio do método baseia-se na solubilidade seletiva das soluções de NH_4F 0,5N a pH 7,0, NaOH 0,1N e H_2SO_4 0,5N, sendo as frações extraídas, denominadas, respectivamente, de P-Al, P-Fe e P-Ca. Um exemplo deste fracionamento é o trabalho de Bahia Filho & Braga (1975) em que a predominância de P-Fe e P-Al em relação a P-Ca é uma das características de solos mais intemperizados, como os sob cerrado, em geral distróficos, pobres em Ca trocável e, por consequência, geralmente ácidos.

Por outro lado, as formas de fósforo em equilíbrio nos solos tropicais, que são predominantemente ácidos e mais intemperizados, são consequência da presença predominante de caulinita e óxidos de ferro e alumínio. Em solos neutros ou alcalinos é mais importante a ocorrência de fosfatos ligados ao cálcio (Fassbender, 1984).

O fósforo adicionado ao solo, geralmente, tem sua disponibilidade diminuída devido às reações com Ca, Fe e Al. Esses cátions podem fazer parte de compostos sobre os quais o fósforo é adsorvido ou podem estar contidos na solução do solo e reagir com o fósforo, formando precipitados pouco solúveis (Thomas & Peaslee, 1973). A reação do fósforo com esses metais pode ocorrer na solução do solo, com formação de precipitados ou na superfície das partículas sólidas de argila, óxidos de Fe e Al ou de carbonato de cálcio, em solos calcários. A adsorção dos fosfatos ao solo se estabelece através de ligações covalentes de alta energia, não possuindo relação com a troca iônica e por isso tem sido denominada de troca de ligantes. (Raij, 1991).

Segundo Thomas & Peaslee (1973), em solos ácidos os óxidos de Fe e Al e minerais de argila são os principais agentes promotores da adsorção de fósforo. Com o passar do tempo, o fosfato adsorvido, nestes constituintes, pode ser recoberto por mais óxidos ou então torna-se parte de um óxido cristalino.

De acordo com Fassbender (1984), os solos tropicais, se apresentam associados a condições de baixo pH, grandes quantidades de hidróxidos de Fe e

Al, e alta capacidade de retenção de P. Sob tais condições, os íons fosfatos, que se liberam através da dissolução de fertilizantes fosfatados, são instáveis e não permanecem em sua forma original, ficando sujeitos às transformações de adsorção e/ou precipitação.

Quando fertilizantes fosfatados são aplicados ao solo, sob forma de grânulos altamente solúveis em água, como os superfosfatos, há a formação de uma solução de ácido fosfórico, que reage com os diferentes cátions existentes na solução do solo (Ca, Fe, Al, principalmente), dando origem a precipitação de fosfatos cristalinos ou amorfos de Ca, Fe e Al, pouco solúveis (Sample *et al.*, 1980). Na maioria dos solos ácidos, os fosfatos de ferro são as formas de fósforo menos solúveis e mais estáveis no solo.

A capacidade de fixação de fósforo pelos solos pode ser influenciada pelo conteúdo de matéria orgânica, hidróxidos livres de alumínio e ferro, minerais de argila existentes, pH, cátions presentes no sistema e pelo tipo de fertilizante empregado (Smith, 1968; Fassbender, 1984).

Em decorrência da baixa solubilidade dos compostos de fósforo existentes no solo e da alta capacidade de adsorção pelas partículas, a quantidade do elemento em solução é muito pequena, muitas vezes menor do que $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ de P, e portanto deve haver uma reposição constante, o que se dá através da dissolução do fosfato lábil, que está em equilíbrio dinâmico com a solução do solo (Raij, 1991). O fósforo lábil é representado por formas meta-estáveis de compostos de fósforo ainda mal formados. Com o passar do tempo o fósforo lábil vai adquirindo uma composição mineralógica mais estável, passando à forma não lábil, conseqüentemente, a quantidade de P lábil diminui. O fósforo não lábil, que constitui a maior parte do fósforo inorgânico do solo, lentamente pode voltar a forma lábil. A baixa solubilidade e as perdas por lixiviação são mínimas e assim há uma tendência dos teores de fósforo serem maiores nas camadas superiores, devido à contribuição do fósforo orgânico (Raij, 1991).

Em decorrência dos baixos teores de fósforo assimilável pelas plantas, na maioria dos solos brasileiros faz-se necessário o uso de fertilizantes fosfatados

para suprir a exigência nutricional dos vegetais. Quando se utiliza uma fonte de fosfato solúvel em água, a maioria do fósforo aplicado estará a disposição da planta a curto prazo. O que se deve fazer para diminuir sua reatividade com o solo é aplicar-se adubos na forma granulada e em linha, uma vez que a adsorção inicial (P-lábil) leva, com o tempo, à formação de P não lábil. Sua aplicação localizada e sua utilização na forma granulada tem como objetivo diminuir seu contato com o solo e, como consequência, sua adsorção.

Entretanto, há casos de fertilizantes fosfatados que se dissolvem lentamente no solo ou não se dissolvem. Como exemplo pode ser citado o fosfato de Araxá, estudado por Novais *et al.* (1980), que avaliaram o efeito do tempo sobre a solubilização de fosfato de Araxá, em latossolos, cujos resultados indicaram que mesmo havendo reação do fosfato com o solo com o aumento do tempo de incubação, essa reação forma produtos de menor disponibilidade de P (P não-lábil) para as plantas. Resultados semelhantes foram encontrados por Novelino *et al.* (1985).

As reações físico-químicas do fósforo no solo, como a adsorção e a precipitação, estão relacionadas à manutenção dos teores de “P disponível” ao crescimento das plantas sendo responsáveis por alterações no equilíbrio das formas de P lábil e o P não lábil (Fassbender, 1984).

O grande problema da adsorção ou fixação é, na verdade, a passagem do P lábil para a forma não lábil que, com o tempo, já não está mais em equilíbrio com o P da solução do solo. Esse processo de “envelhecimento” ou “retrogradação” do P no solo a formas não lábeis, segundo Muns & Fox (1976) citados por Novais *et al.* (1993), ocorre, em sua maior proporção, de maneira gradual e lenta, com o tempo, principalmente nos solos mais intemperizados, com maior poder de adsorção, como os de regiões tropicais, sendo este o mecanismo que causa maiores problemas quando se aplica um fertilizante fosfatado. Em síntese, não é o P lábil ou a adsorção inicial de P ao solo o fator limitante da eficiência de uma fonte solúvel de P para as plantas mas, sim sua transformação em P não lábil.

2.3. Comportamento de fosfatos naturais no solo

No Brasil, os trabalhos de pesquisa sobre eficiência agronômica dos fosfatos naturais tiveram grande impulso na década de 70, com a descoberta de novas jazidas de fosfatos naturais (Patos de Minas e Catalão), coincidindo com o acentuado encarecimento de fontes solúveis, conduzindo à necessidade de estabelecimento de estratégias para o uso adequado destes materiais (Goedert & Lobato, 1980).

Pesquisas recentes têm sido conduzidas com diferentes fontes brasileiras de fosfatos naturais, comparando-as entre si e com fontes estrangeiras mais reativas no solo, como os fosfatos de Gafsa e Carolina do Norte. Os fertilizantes brasileiros apresentam baixíssima eficiência agronômica no primeiro cultivo, porém tendem a melhorar no decorrer do tempo, como mostraram Goedert & Lobato (1980), que recomendam sua utilização apenas para adubação corretiva visando elevar o nível de fósforo no solo. Esta adubação corretiva deve ser suplementada com uma adubação de manutenção no sulco de plantio dos cultivos anuais, utilizando-se uma fonte solúvel de P.

No que concerne às características de análises laboratoriais, as mais importantes são: composição, solubilidade e características físicas das fontes. Além disso, outros aspectos podem ser importantes, tais como: mineralogia, modo de decomposição, reações com o solo (Goedert *et al.*, 1986).

Segundo Alcarde & Ponchio (1980), para avaliar a solubilidade dos fosfatos os extratores mais comuns são: água, ácido cítrico a 2%, ácido fórmico a 2% e solução de citrato de amônio.

Uma escala da reatividade dos fosfatos naturais, embasada em parâmetros cristalográficos, foi proposta por Lehr & McLellan (1972), na qual a reatividade destes materiais aumenta com o acréscimo da substituição do íon PO_4^{3-} pelo CO_3^{2-} .

Diversos trabalhos comparam a eficiência agronômica (produção/unidade de P aplicado) dos fosfatos naturais com fontes solúveis de fósforo. Além da

baixa eficiência dos fosfatos naturais apatíticos, diversos autores tem demonstrado a grande variação dos resultados experimentais, desses produtos como fonte de fósforo para as culturas (Dyenia, 1977; Alcarde & Ponchio, 1980; Goedert & Lobato, 1980; Raij & Diest, 1980; Cabala & Wild, 1982).

De maneira geral, os fosfatos de rocha são mais efetivos quando usados em solos ácidos e deficientes em fósforo (Khasawneh & Doll, 1978). Esses autores justificam que a influência do pH sobre a dissolução dos fosfatos de rocha tem sido interpretada como um simples efeito de pH, onde a acidez é o agente responsável pelo aumento da disponibilidade de fósforo oriundo dos fosfatos. A dissolução dos fosfatos naturais é afetada não somente pelo desenvolvimento da acidez do solo, mas também, juntamente, com outras condições, tais como baixos teores de cálcio e altos teores de alumínio trocáveis.

De acordo, com Goedert *et al.* (1987) pode-se esperar que os fosfatos naturais de origem apatítica, como é o caso da maioria dos fosfatos brasileiros, apresentem maior solubilidade em condições de solos ácidos com baixos teores de cálcio trocável.

Dyenia (1977), usando solos com diferentes pH e capacidades de retenção de fósforo, verificou que a eficiência do fosfato de Gafsa foi maior quando aplicado em solos com alto teor de argila e pH inferior a 6,0. Goedert & Lobato (1980), testando a eficiência agrônômica de onze fosfatos, em Latossolo Vermelho-Escuro sob cerrado, verificaram que a eficiência dos fosfatos naturais foi maior com o aumento da acidez do solo.

Ferreira & Kaminski (1979), trabalhando com Podzólico Vermelho-Amarelo e Laterítico Bruno-Avermelhado eutrofíco, verificaram que o fosfato Patos de Minas granulado e em pó, e o fosfato de Gafsa granulado e acidulado, não foram eficientes na liberação de fósforo para a soja, porém o fosfato de Gafsa, em pó, foi equivalente ao superfosfato triplo. Para estes autores, as diferenças entre os fosfatos naturais utilizados podem ser atribuídas às suas constituições, pois, enquanto o fosfato Patos de Minas é um fosfato apatítico, com pequeno grau de substituição isomórfica em sua estrutura cristalina, o

fosfato de Gafsa apresenta alto grau de substituição de PO_4^{3-} pelo CO_3^{2-} , sendo, por isto, facilmente solubilizado.

Novais *et al.* (1980) avaliaram a influência do tempo de incubação sobre a eficiência do fosfato de Araxá, em latossolos, utilizando o sorgo como planta teste, e concluíram que embora haja uma reação do fosfato no solo, com maior tempo de incubação, esta reação forma, aparentemente, produtos de menor disponibilidade de fósforo para as plantas do que o material original. Resultados semelhantes foram encontrados por Novelino *et al.* (1985).

A época de aplicação dos fosfatos naturais, em relação à calagem, foi estudada por Cantarutti *et al.* (1981), num Latossolo Vermelho-Amarelo Câmbico álico, em que se cultivou sorgo granífero e verificaram que a maior eficiência agrônômica dos fertilizantes foi alcançada quando eles foram adicionados ao solo trinta dias antes da aplicação do corretivo.

Cordeiro *et al.* (1979) avaliaram a eficiência agrônômica dos fosfatos de Gafsa e Patos de Minas (empregando-se o superfosfato triplo como fonte padrão), em experimento à campo, num Latossolo Roxo distroféico, de textura argilosa, localizado na EMBRAPA-UEPAE de Dourados, MS, com as cultivares de soja Santa Rosa e Paraná. Observaram efeitos residuais quadráticos, para o superfosfato triplo e fosfato de Gafsa e efeito linear para o fosfato Patos de Minas, e concluíram que o fosfato de Gafsa apresentou uma eficiência média de 95% em relação ao superfosfato triplo, considerando-se o efeito residual, enquanto que o fosfato Patos de Minas apresentou uma eficiência média residual de 62% em relação a fonte padrão.

Magalhães (1984) conduziu um ensaio em casa de vegetação durante dois cultivos, em Latossolo Vermelho-Escuro álico (LEa) e Latossolo Vermelho-Amarelo distróféico (LVd), utilizando como planta teste o trigo, para comparar a eficiência agrônômica do fosfato Patos de Minas em relação ao superfosfato triplo, o efeito da calagem na disponibilidade de fósforo e o efeito residual dessas fontes de fósforo. O fosfato Patos de Minas foi ineficiente no suprimento de fósforo em ambos os solos; o LVd apresentou maior ação solubilizadora do

fosfato Patos de Minas que o solo LEa. A calagem favoreceu, de maneira geral, uma maior liberação de fósforo, proporcionando maiores produções de matéria seca nos tratamentos com superfosfato triplo, particularmente no solo LEa, em ambos os cultivos.

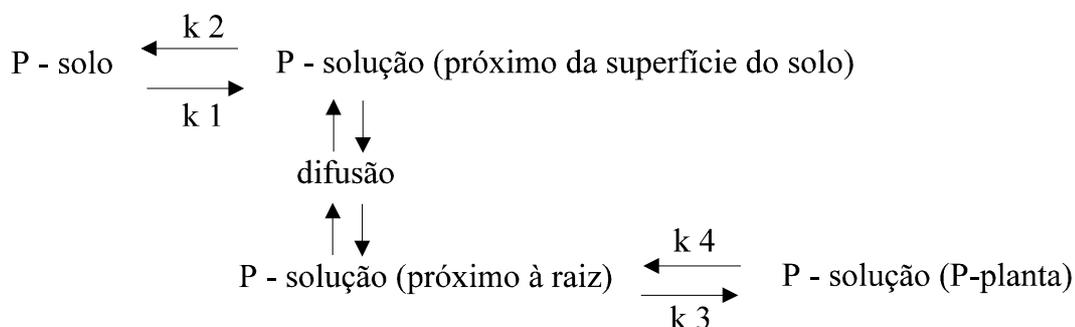
Braga *et al.* (1991) avaliaram a eficiência agrônômica de diferentes fosfatos, em quatro cultivos sucessivos de soja num LE sob cerrado, e concluíram que os fosfatos naturais de Araxá, Patos de Minas e Catalão proporcionaram rendimentos que não diferiram da testemunha, confirmando a baixa eficiência agrônômica dessas fontes de fósforo, como também verificado por outros autores: Braga *et al.* (1980); Goedert & Lobato (1984) e Oliveira *et al.* (1984).

Para avaliar a disponibilidade de P, bem como a eficiência agrônômica de quatro fontes de fósforo (superfosfato triplo, termofosfato yoorin-fino, termofosfato yoorin-granular e fosfato natural Carolina do Norte) em cinco solos representativos da Amazônia, Brasil (1994) conduziu um experimento em casa de vegetação, com quatro doses de P_2O_5 utilizando o caupi e arroz como plantas teste, em dois cultivos sucessivos. De acordo com os resultados obtidos, concluiu que os melhores rendimentos em produção de matéria seca e P absorvido foram obtidos nos solos tratados com o superfosfato triplo.

Algumas alterações nas características físicas do produto podem melhorar marcadamente a eficiência agrônômica dos mesmos. A granulometria é uma das características físicas dos adubos fosfatados, que pode influenciar sensivelmente na disponibilidade dos fosfatos aplicados ao solo, possuindo uma atuação específica de acordo com o tipo de produto empregado (Vasconcellos *et al.*, 1986; Brasil, 1994). Goedert *et al.* (1987) indicaram o uso de superfosfato granulado como forma de minimizar a fixação de fósforo em solos ácidos.

2.4. Avaliação da disponibilidade de fósforo para as plantas

O suprimento contínuo do fósforo para planta a partir do solo pode ser representado do seguinte modo (Gunary & Sutton, 1967) :



Segundo essa representação, a quantidade de fósforo absorvido pela planta dependeria do P - lábil (P - solo) representado pelo “fator quantidade”, ou a reserva de fósforo no solo; do P - solução, ou “fator intensidade”, representado pelo elemento na solução do solo; do “fator capacidade”, definido pela relação entre as constantes k_1/k_2 , denominada de poder tampão de fosfato no solo, sendo uma medida da capacidade do solo em manter um definido nível de fósforo e, pelas constantes k_3 (influxo) e k_4 (efluxo), em que k_3 é, provavelmente, limitante somente em altas concentrações de fósforo na planta, e k_4 desprezível para a planta em intenso crescimento.

Portanto, em condições de crescimento vegetativo normal, k_3 e k_4 não são importantes, e o sistema reduz-se a quatro fatores primários; quantidade (P - solo), taxa ou capacidade (k_1/k_2), intensidade (P-solução) e difusão.

A capacidade das plantas em aproveitar o fósforo do solo restringe-se, em geral, ao que se encontra na solução do solo. Portanto, o desejável é manter continuamente a concentração de fósforo na solução do solo, do qual as plantas absorvem o elemento. Para que a absorção se torne contínua, o fósforo deve ser liberado da fase sólida e movimentar-se por difusão até a superfície das raízes. A difusão do fósforo no solo é proporcional aos teores de fósforo em solução, poder

tampão ou fator capacidade definida pela relação $\Delta Q/\Delta I$ (Beckett & White, 1964), P lábil, umidade e outros fatores do solo (Barber, 1984).

O poder tampão, por sua vez, é mensurado através da facilidade do solo em manter o parâmetro intensidade (I), pela oscilação do parâmetro quantidade (Q), conseqüência da aquisição ou da perda de P do solo (Raij, 1978).

Larsen (1967) descreve o comportamento do fósforo no solo através das seguintes reações:



O conceito de intensidade e capacidade tem se ajustado melhor ao comportamento da absorção de fósforo pelas plantas, em substituição aos potenciais químico de fósforo. Essa mudança de enfoque foi proporcionado pelo desenvolvimento da troca isotópica com ^{32}P para determinar o chamado fósforo isotopicamente trocável (Larsen, 1952, Raij, 1978). Essa técnica permite determinar o chamado “fosfato lábil”, caracterizado como fator quantidade. O P não lábil é responsável pela maior parte do fósforo inorgânico do solo, sendo representado por compostos insolúveis que muito lentamente podem transformar-se em formas lábeis (Raij, 1991).

Schofield (1955) introduziu o parâmetro fator intensidade, baseado no potencial químico do fosfato monocálcico, determinado a partir da análise de P em solução de CaCl_2 0,01M. Posteriormente, Wild (1964) demonstrou que para a absorção das plantas, a concentração de P em solução, geralmente expressa uma medida melhor que o potencial químico de P do solo.

As quantidades de fósforo extraídas, raramente são equivalentes, o que dificulta comparações, porém correlacionam-se com o fósforo na forma lábil, o que caracteriza o fator quantidade. Entretanto, esta forma é constituída por vários compostos fosfatados, peculiares ao próprio solo, formados pela adição de íons fosfato de fertilizantes que não completaram suas reações de solubilização no solo. As características do solo é que vão determinar os compostos fosfatados que

constituirão o seu fator quantidade, sendo basicamente compostos ligados à ferro, alumínio e cálcio, cujas quantidades e combinações dependem do material de origem, do grau de intemperismo do solo, bem como das práticas de manejo do solo a longo prazo (Thomas & Peaslee, 1973).

Embora os valores absolutos do P extraídos pelas várias técnicas expliquem em grande parte a variação do P absorvido, Bahia Filho *et al.* (1983), sugeriram a inclusão do fator capacidade para melhorar o poder de previsão dos modelos empregados. O fator capacidade permite medir o poder tampão do solo, ou seja, a capacidade do solo em manter o fósforo na solução durante o período de crescimento vegetal (Holford & Mattingly, 1976).

Por outro lado, Kamprath & Watson (1980), citam que os objetivos básicos das análises de solo, para diagnose da disponibilidade de fósforo, seguem os seguintes pontos: a) indicar o suprimento de fósforo disponível nos solos; b) prever a probabilidade de uma resposta confiável à aplicação dos fertilizantes; c) agrupar solos em classes para fins de recomendação de fertilizantes fosfatados.

2.4.1. Classificação dos métodos de extração de fósforo

Na literatura mundial existem diversos extratores de P do solo e uma série de classificação, segundo as suas peculiaridades. Uma classificação foi sugerida por Thomas & Peaslee (1973), onde os extratores foram agrupados em:

a) soluções concentradas de ácidos minerais; b) soluções de ácidos fracos; c) soluções tamponadas de bases; d) soluções de sais neutros; e) soluções diluídas de sais e ácidos em água.

Os métodos de extração de fósforo podem ainda ser classificados em várias categorias relacionadas com a natureza química das soluções extratoras. A classificação proposta por Kamprath & Watson (1980) é baseada no princípio ativo de ânions com reação específica e natureza química das soluções extratoras. Esta classificação consiste em reunir os extratores de P do solo em quatro grupos.

2.4.1.1. Soluções diluídas de ácidos fortes

Os ácidos comumente empregados como extratores são HCl, HNO₃ e H₂SO₄, em concentrações que variam de 0,002N a 0,075N. O pH das soluções geralmente encontram-se entre 2 e 3. Os íons cloreto e nitrato têm muito pouco efeito sobre a extração, mas o sulfato tende a reduzir a readsorção do fósforo, dissolvido pelas soluções ácidas. Neste grupo enquadram-se os H₂SO₄ 0,05N e Mehlich.

2.4.1.2. Soluções diluídas de ácidos fortes mais íons complexantes

A solução ácida com íon complexante mais empregada é a mistura do HCl com NH₄F, o íon fluoreto atuando na formação de um forte complexo com íons Al. As concentrações do ácido variam de 0,025 a 0,1N, enquanto que a concentração do NH₄F geralmente é 0,03N.

2.4.1.3. Soluções diluídas de ácidos fracos

Dentre as soluções de ácidos fracos ou sais, mais comumente empregadas para a extração de P estão aquelas que contêm ácidos cítrico, láctico ou acético. Neste grupo enquadra-se um dos primeiros extratores usados na determinação do fósforo do solo, a solução de ácido cítrico 1%. Também estão incluídas as soluções de lactato de cálcio mais HCl; ácido tamponado com acetato de sódio a pH 4,8. Nestas soluções, os ânions orgânicos, tais como citrato e lactato, tendem a influenciar de duas formas a extração: formando complexos com cátions polivalentes liberando o P adsorvido no solo e evitando a readsorção do P liberado.

2.4.1.4. Soluções alcalinas tamponadas

A solução alcalina mais comumente utilizada na extração de P é a de NaHCO_3 , 0,5N a pH 8,5, desenvolvida e preconizada para solos calcários (Olsen *et al.*, 1954). O H_2CO_3 é bastante efetivo na substituição do P adsorvido no solo e o Na reduz a atividade do cálcio em solução.

2.4.1.5. Resina Trocadora de Ânions

O método baseado na extração com Resina Trocadora de Ânions (Raij *et al.*, 1986) proposto originalmente por Amer *et al.* (1955), vem sendo utilizado em análise de rotina em inúmeros laboratórios do Brasil, podendo ser enquadrado num grupo especial de resinas-extratoras, por não se tratar de solução extratora.

2.4.2. Escolha de métodos: critérios e comparações

Existe uma variedade de métodos de extração do fósforo de solos em uso em diferentes regiões do mundo, o que não deixa de ser um reflexo da complexidade do comportamento do elemento no solo, bem como a discordância de qual método seria mais adequado.

Para que o resultado analítico seja válido, é importante que ele tenha fundamento científico e a melhor correlação com a resposta biológica a fósforo. Uma das maneiras utilizadas para comparar extratores de P em solos é através de correlações do fósforo absorvido pelas plantas, teor de P nas folhas e raízes e produção relativa. Os melhores métodos são aqueles que apresentam os maiores coeficientes de correlação.

Kamprath & Watson (1980) consideram que o melhor método para análise de fósforo no solo, é aquele que não seja influenciado por propriedades químicas

e mineralógicas do solo. Por outro lado, Thomas & Peaslee (1973) consideram que um extrator para ser indicado para quantificação das necessidades de fertilizantes fosfatados, em algumas combinações de solo, de cultura e clima, deveria atuar da seguinte maneira: 1) dissolver e/ou desorver algumas proporções reproduzíveis e consistentes do P lábil; e 2) refletir a extensão e natureza das reações entre os solos e alguns fertilizantes fosfatados adicionados ao solo.

Raij (1978) cita que um método de laboratório torna-se válido para avaliar a disponibilidade do fósforo, depois de convenientemente correlacionado com a resposta da planta à aplicação de fosfatos ou ao fósforo existente nos solos. Testes finais para o uso de métodos de avaliação de P extraível do solo, são feitos através de ensaios de campo. Segundo esse autor, para a seleção de métodos de avaliação de P extraível do solo, são preferidos ensaios em vasos, com uma série de solos de importância regional, sendo a quantidade de fósforo absorvido pela planta teste, o parâmetro mais utilizado para expressar a resposta ao fósforo, em condições de casa de vegetação.

Outro problema no processo de extração de fósforo é que os diferentes métodos não apresentam resultados idênticos e nem se correlacionam significativamente, o que dificulta comparações. Às vezes, a conveniência analítica predomina sobre a eficiência do método em avaliar a disponibilidade do elemento no solo, levando a uma tendência que métodos de análise de solo devem ser simples e baratos. Cada mudança na técnica de extração leva a resultados diferentes, o que faz com que haja necessidade de padronizar os métodos de extração e calibrá-los regionalmente. Quando isto é feito, pode-se chegar a soluções razoáveis do ponto de vista prático (Raij, 1991).

No Brasil, atualmente são usados basicamente dois métodos de análise da disponibilidade de P em solos, sendo eles: Mehlich 1 (H_2SO_4 0,025N + HCl 0,05N) e mais recentemente a resina de troca aniônica. As extrações do P disponível fornecem valores que variam entre intensidade e quantidade, às vezes, até mesmo parte do P não lábil, dependendo das propriedades do reagente e das

condições de extração do solo, sem informar o fator quantidade (Novais *et al.*, 1993).

De acordo com Kamprath & Watson (1980) quando se utiliza extratores ácidos para o fósforo disponível, ocorre uma maior extração de fósforo ligado ao cálcio no solo e apenas pequena proporção ligado ao ferro e alumínio. No caso particular do extrator de Mehlich-1, este causa extensa solubilização de P-Ca, alguma solubilização de P-Al e de P-Fe. A presença de sulfato no extrator de Mehlich desloca o fosfato daquelas formas tomando os seus lugares no sítio de adsorção bem como impede que este ânion seja readsorvido durante o processo de extração. Esse extrator é mais adequado para solos intemperizados, com baixos valores de CTC, com mínimos teores de P-Ca. Em solos que receberam fosfatos naturais, os valores de P disponível encontrados são, em geral, bastante altos, superestimando o teor de P realmente à disposição da planta (Raij, 1991; Novais *et al.*, 1993).

O extrator duplo ácido, hoje designado Mehlich 1, foi introduzido em 1954, para uso em solos da Carolina do Norte, Estados Unidos. O extrator é formado pela mistura de dois ácidos fortes diluídos (H_2SO_4 0,025N e HCl 0,05N). Sua ação extratora se dá pela ação ácida, que promove a protonação de fósforo pela troca aniônica em que os radicais cloreto e principalmente os sulfatos substituem os fosfatos ligados ao cálcio e em menor proporção aos ligados ao alumínio e ferro (Nelson *et al.*, 1953). Os íons sulfatos atuam ainda reduzindo a readsorção do fósforo do solo, durante o processo de extração. Este extrator demonstrou ser mais satisfatório quando usado em solos que tinham pH=7 ou menos (Fitts & Nelson, 1956), condições de baixa CTC, alto grau de intemperismo e pouco P-Ca. Em solos argilosos essas afirmações têm sido confirmadas para o extrator de Mehlich-1, sendo comum a obtenção de valores subestimados de P, observados com frequência para aqueles com pH mais elevado, em razão de seu poder de extração ser exaurido pelo próprio solo. Nesses solos mais argilosos, com acidez mais tamponada, o pH inicial do extrator que é de 1,2 é rapidamente elevado. Igualmente, o SO_4^{2-} do extrator que atua por

troca com o fosfato adsorvido é, também, rapidamente adsorvido pelo solo, perdendo o poder de extração (Novais *et al.*, 1993). Assim, em solos argilosos os valores dos níveis críticos são menores do que nos arenosos porque naqueles o extrator é bem mais exaurido que nos arenosos (Freire *et al.*, 1979; Novais & Kamprath, 1979; Muniz *et al.*, 1987).

Quando são adicionados aos solos fosfatos de baixa solubilidade, como os fosfatos naturais, a utilização de extratores ácidos, como o Mehlich 1, proporciona valores superestimados do P disponível, não apresentando boas correlações com os rendimentos das culturas ou com as quantidades absorvidas do elemento (Doll *et al.*, 1960; Barnes & Kamprath, 1975, Sfredo *et al.*, 1979). Contudo, quando as fontes de fósforo são mais solúveis e completam as reações de dissolução os extratores ácidos passam a apresentar resultados satisfatórios (Cajuste & Kussow, 1974; Lopes *et al.*, 1982, Correa & Haag, 1993).

Holanda *et al.* (1994) compararam a eficiência de extratores de P, em um Latossolo Vermelho-Amarelo, utilizando o arroz como planta teste, com diferentes fontes e doses de adubos. Concluíram que os métodos de extração que melhor expressaram os teores de P disponíveis para as plantas no solo foram o Bray-1 e Resina Trocadora de Íons, e que o extrator de Mehlich 1 foi eficiente na avaliação do P disponível no solo quando este não foi adubado com fosfato de Araxá. Esse resultado justifica a posição da rede de laboratórios de análises de solo da maior parte do Brasil que continua utilizando o extrator de Mehlich-1 para a avaliação de P disponível no solo, com resultados satisfatórios sob condições de fertilidade natural ou quando do uso de adubos fosfatados solúveis.

O uso da resina como extrator de P foi introduzido por Amer *et al.* (1955) para avaliar o fósforo trocável, de disponibilidade imediata às plantas. Estes pesquisadores demonstraram que sob, condições apropriadas, a velocidade com que o P era adsorvido pela resina dependeu somente da velocidade de sua liberação pelo solo e não das propriedades da resina. Foi demonstrado ainda, que a adsorção nos primeiros minutos de contato, evidenciava o fósforo presente na

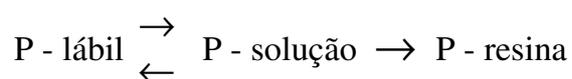
solução, enquanto que as quantidades adsorvidas posteriormente vinham das formas cálcicas.

Teoricamente, a utilização de resinas de troca iônicas na determinação do P disponível de um solo corrige ou minimiza os problemas apresentados pelos extratores ácidos (Raij *et al.*, 1986), como aqueles acima mencionados. A resina não tem seu poder de exaustão alterado em solos com maior fator capacidade, não subestimando, assim, o P lábil, e não é sensível às formas não lábeis como aquelas de P-Ca. Portanto, a resina tem função semelhante à da raiz de uma planta que, ao absorver o P da solução, vai gradualmente, consumindo o P lábil até a exaustão de ambos (Raij *et al.*, 1986; Novais *et al.*, 1993).

Segundo Raij *et al.* (1986) o método de extração de P pela resina de troca iônica, usado rotineiramente em São Paulo, utiliza uma mistura de resinas de troca de cátions e de ânions, tratada com solução de bicarbonato de sódio. A inclusão de resina catiônica, saturada com cátions monovalente, favorece a extração de P, além de permitir extrair o Ca, Mg e K.

Raij *et al.* (1987) citam que a resina é comprovadamente superior aos outros métodos, em função das seguintes características:

a) Ocorre uma transferência de P da fase sólida do solo para a resina, através da água, de forma similar ao que ocorre na absorção de P pelas raízes:



b) Nenhum reagente químico enérgico é utilizado;

c) o pH da suspensão solo-resina é pouco abaixo de 7,0, o que coincide com a faixa de maior disponibilidade dos fosfatos, além de estar próximo dos valores de pH desejáveis para as culturas;

d) o bicarbonato de sódio ajuda a tamponar a solução, favorecendo a reprodutibilidade de resultados e tornando-os menos influenciados por mudanças em condições operacionais.

Em ampla revisão, analisando uma série de extratores químicos, comumente utilizados no Brasil, Raij (1978) constatou a superioridade do método da resina trocadora de ânions na extração de fósforo do solo, em comparação com vários outros métodos para a análise de P (Mehlich 1, Bray 1, Bray 2, Olsen, Truog e Morgan). O fósforo extraído pelo método da resina também tem demonstrado mais eficiência na determinação da disponibilidade de P do solo em diversas pesquisas (Raij *et al.*, 1986; Fixen & Grove, 1990; Raij & Quaggio, 1990; Silva, 1991; Ibricki *et al.*, 1992; Muniz *et al.*, 1996).

A extração de P em solos com a resina é mais complexa que os demais métodos. Há necessidade de um longo período de extração de resina com o solo (16 h), separação da resina e extração do P da resina (Raij, 1992). Isso tem inibido o uso rotineiro do método, que só foi viabilizado em larga escala no Brasil a partir dos trabalhos de Raij *et al.* (1986). Outra restrição seria pela dificuldade da separação das resinas do solo (Miola *et al.*, 1995). Porém, Raij (1994) destaca que a extração de fósforo pela resina, provavelmente é o melhor método, e quase não é utilizado em análise de rotina para solos, devido a preferência por métodos mais simples.

Entretanto, na década de 80, alguns novos extratores foram desenvolvidos, demonstrando superioridade sobre aqueles que estão em uso atualmente. O novo extrator Mehlich 3 que é um método de extração ácida e, composto por: CH_3COOH 0,2N - NH_4NO_3 0,25N; NH_4F 0,015N - HNO_3 0,013N e EDTA 0,001M, foi adaptado a partir do extrator Mehlich 2 (CH_3COOH 0,2N - NH_4Cl_2 0,2N - NH_4F 0,015N e HCl 0,012N) constituído por uma série de compostos químicos com atuação específica sobre determinadas formas de fósforo do solo. O NH_4F foi introduzido com o propósito de liberar ânions fosfato, ligados ao alumínio. O fluoreto foi incluído no extrator de Bray 1 para promover a extração seletiva do P, mas devido a baixa capacidade tampão do extrator, uma larga proporção de extração tornou-se necessária em solos neutros a alcalinos (Mehlich, 1978 e 1984). Dessa maneira, o autor sugere, que para obter a máxima vantagem do componente fluoreto, durante o processo de extração, seria

necessária a manutenção de um pH menor do que 2,9. O autor assinala que o ácido acético atua na decomposição da apatita, em menor grau que os ácidos minerais equivalentes, exibindo alta ação de tamponamento, devido à sua constante de dissociação ($1,76 \times 10^{-3}$). Algumas modificações foram realizadas do Mehlich 2 para obtenção do Mehlich 3, em virtudes de observações realizadas durante o processo de extração. Foi o caso da substituição do HCl pelo HNO_3 , devida a ação do íon cloreto que apresentou propriedades corrosivas durante a extração, indicando a necessidade de substituição dos compostos com este ânion, de maneira a reduzir o perigo de corrosão de instrumentos e materiais de laboratório. A adição de EDTA no extrator teve por finalidade apenas aumentar a extração de cobre do solo.

Lins & Cox (1989) avaliaram o efeito de algumas propriedades de sete solos sob cerrado com o plantio de soja em casa de vegetação, e verificaram que o extrator de Mehlich 3 foi superior ao Bray 1 e a resina. Esses autores demonstraram também, a importância do teor de argila na interpretação dos resultados obtidos com o Mehlich 1 e Mehlich 3. Piha (1993) comparando o extrator de Mehlich 3 à resina em solos do Zimbábue, demonstrou que o Mehlich 3 foi considerado o mais adequado para uma larga variação de tipos de solos, por ter sido menos influenciado pela textura, com exceção daqueles solos contendo carbonato de cálcio. Resultados semelhantes foram obtidos por vários autores (Wolf & Baker, 1985; Gascho *et al.*, 1990).

Brasil (1994) avaliou o P disponível com a utilização dos métodos Bray-1, Mehlich-1, Mehlich 3, papel de filtro e Resina, em solos da Amazônia Oriental, com diferentes fontes e doses de fósforo, e verificou que o extrator Mehlich-1, extraiu altas quantidades de P, nos tratamentos com fosfato natural da Carolina do Norte e que de maneira geral, o extrator Mehlich 3, destacou-se dos demais, mostrando-se mais adequado em prever a disponibilidade de P para as plantas.

A utilização do Mehlich 3 como extrator universal foi demonstrada por Hanlon & Johnson (1984) em 310 amostras de quatro diferentes solos de Oklahoma. Esses autores mostraram também sua eficiência em estimar tanto o P

como o Mg e K. Resultados similares foram obtidos por Evans & Mcguire (1990). No Brasil, a sua utilização como extrator universal foi demonstrada por Vasconcellos *et al.* (1996) tanto para o P como para o K e os micronutrientes (Zn, Cu, Fe e Mn).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Núcleo Experimental de Ciências Agrárias (NCA), da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), localizada na latitude de 22°11'55"S, longitude de 54°56'7"W e 452 m de altitude, em Dourados, MS, no período de abril a agosto de 1996.

3.1. Caracterização dos solos

Para este estudo, foram utilizados dois solos representativos do Mato Grosso do Sul, um Latossolo Vermelho-Escuro álico (LEa), textura franco-argilo-arenoso e um Latossolo Roxo álico (LRa), textura argila pesada, ambos sob vegetação de campo nativo, localizados respectivamente, na Estação Experimental do Centro de Pesquisa Agropecuária do Oeste (CPAO), da *Embrapa*, em Ponta Porã e Dourados, MS.

Na caracterização física do solo, foi feita a análise granulométrica, conforme Bouyoucos (1962), e a densidade aparente foi determinada pelo método do balão volumétrico (EMBRAPA, 1979). As determinações químicas para pH em água; Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} (extraídos pelo KCl 1N); K^{+} (extraído pelo HCl

0,05N + H₂SO₄ 0,025N) e carbono orgânico por oxidação com dicromato de potássio foram efetuadas conforme EMBRAPA (1979). Enquanto que as análises de pH em CaCl₂ 0,01M e acidez potencial (H⁺ + Al³⁺), foram realizadas conforme o método descrito por Raij *et al.* (1987).

As amostras de solo utilizadas neste ensaio foram coletadas na camada superficial (0-20 cm), tomando-se o cuidado de remover a vegetação. Após a secagem ao ar, o solo foi peneirado em malha de 4 mm para realização do experimento e tamisados a 2 mm para realização de análises físicas e químicas. Os resultados destas análises estão representados na Tabela 1.

TABELA 1. Atributos químicos e físicos das amostras dos solos utilizados no experimento. Dourados, MS. 1997.

Atributos	Extrator/Determinação	Solos	
		LRa	LEa
pH (1:2,5)	Água	4,8	4,7
pH (1:2,5)	CaCl ₂ .2H ₂ O	4,1	4,0
M.O. (g.kg ⁻¹)	Walkley-Black	29	22
P (mg.dm ⁻³)	Mehlich 1	4,0	3,0
P (mg.dm ⁻³)	Mehlich 3	3,2	4,8
P (mg.dm ⁻³)	Resina	10,8	9,2
K (cmol _c .dm ⁻³)	Mehlich 1	0,13	0,12
Ca ²⁺ (cmol _c .dm ⁻³)	KCl 1N	1,1	0,2
Mg ²⁺ (cmol _c .dm ⁻³)	KCl 1N	0,4	0,1
Al ³⁺ (cmol _c .dm ⁻³)	KCl 1N	2,1	1,9
H ⁺ + Al ³⁺ (cmol _c .dm ⁻³)	Acetato de cálcio	9,3	8,6
Saturação de Al (%)		56	82
CTC efetiva (cmol _c .dm ⁻³)		3,73	2,32
CTC (cmol _c .dm ⁻³)		10,9	9,0
V (%)		15	5
Areia (g.kg ⁻¹)	Bouyoucos	230	620
Silte (g.kg ⁻¹)	Bouyoucos	150	80
Argila (g.kg ⁻¹)	Bouyoucos	620	300
Densidade Aparente (g.cm ⁻³)	Balão volumétrico	1,19	1,27

3.2. Instalação e condução do experimento

Um ensaio preliminar foi desenvolvido objetivando definir as doses de corretivo (mistura de sais CaCO_3 e MgCO_3 p.a., na relação 4 equivalentes de Ca para 1 de Mg), necessárias à elevação do pH em H_2O das amostras próximo a 6,0. Assim amostras de 500g de cada solo, secas ao ar e passadas em peneiras de 4 mm de abertura, com três repetições, foram incubadas em copos plásticos durante 30 dias com a mistura corretiva nas dosagens equivalentes a 0, 2, 4, 6 e 8 t.ha^{-1} , com o teor de umidade mantido em 70% da capacidade de campo. Ao final do período de incubação foram determinados o pH em água e em CaCl_2 0,01 M. De acordo com as equações de regressão da curva de incubação obtidas para os dois solos, foram aplicados 4,28 e 3,25 t.ha^{-1} para o LRa e LEa respectivamente de maneira idêntica ao procedimento realizado no ensaio preliminar, com a diferença que as amostras foram de 4 kg e incubadas nos próprios vasos plásticos, em quatro repetições.

O fosfato de Araxá foi incubado nos solos 30 dias antes da calagem, enquanto que o superfosfato triplo e o fosfato de Gafsa, foram aplicados 30 dias após a calagem (na semeadura). Durante essa incubação com fosfato de Araxá todos os vasos foram mantidos com umidade em torno de 70 % da capacidade de campo. A granulometria para aplicação dos fosfatos naturais variaram de acordo com seu estado de acabamento, sendo a seguinte: para o fosfato de Araxá 85% das partículas passam em peneira 0,075 mm (peneira 200 ABNT), enquanto que o fosfato de Gafsa foi utilizado na sua forma de fabricação, de natureza física farelada. A fonte solúvel (superfosfato triplo) foi triturado com pistilo em almofariz e aplicado em pó com 100% passando em peneira de 0,297 mm (peneira 50 ABNT). Os valores das doses de fósforo foram calculados com base na composição química do teor total de P_2O_5 que correspondem as seguintes quantidades: 42, 28 e 24 % para o superfosfato triplo, fosfato de Gafsa e Araxá, respectivamente.

Como planta-teste foi utilizado o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), semeando-se 10 sementes por vaso, da cultivar FT 10 do grupo Carioca, previamente tratadas com fungicida (Benomyl). Após a emergência, foi feito o desbaste, deixando-se três plantas por vaso e uma adubação básica de N, K, S contendo respectivamente 300, 150, 50 mg.kg⁻¹ e micronutrientes B, Cu, Fe, Mn, Zn, Mo utilizando-se as seguintes quantidades: 0,5; 1,5; 5,0; 3,0; 5,0; 0,1 mg.kg⁻¹ (Malavolta, 1980), aplicados via solução. As soluções nutritivas foram preparadas com reagentes analíticos p.a. (ZnSO₄.7H₂O, CuSO₄.5H₂O, FeSO₄.7H₂O, H₃BO₃, MnCl₂.4H₂O, MoO₃, NH₄NO₃, K₂SO₄, KCl) calculadas estequiometricamente para cada elemento.

Durante o desenvolvimento das plantas, diariamente adicionava-se água destilada nos vasos visando mantê-los com 70% da capacidade de campo. Para isto, utilizou-se um método que simula o princípio da capacidade de campo, denominado torrão separado pela frente de molhamento (TSFM). Este método consta do seguinte: coloca-se aproximadamente 150 g de terra fina seca ao ar (TFSA) numa capsula de alumínio e, com uma pipeta, adiciona-se 2 ml de água. Após 10 segundos retira-se o torrão úmido (separado da terra seca pela frente de molhamento), o qual é imediatamente pesado, obtendo-se assim o peso úmido. O teor de água deste torrão é determinado gravimetricamente.

3.3. Extração e determinação de fósforo

Para avaliar a extração de P, os solos foram analisados pelos seguintes métodos:

a) extração com o Mehlich I ou “Carolina do Norte”, que consiste no uso da solução de HCl 0,05N + H₂SO₄ 0,025N (Nelson *et al.*, 1953). Para a extração, procedeu-se a agitação de 5 cm³ de terra fina seca ao ar em 50 cm³ de solução extratora, por cinco minutos, deixando-se decantar por aproximadamente quinze horas. Após a separação do extrato (sobrenadante), uma alíquota deste foi usada

na determinação do P disponível pelo método colorimétrico, com emprego de ácido ascórbico, conforme EMBRAPA (1979).

b) extração com Resina Trocadora de Íons - foi utilizado o método da resina trocadora de íons saturada com bicarbonato de sódio (NaHCO_3 1N a pH 8,5), utilizou-se resina trocadora de ânions tipo base Amberlite IRA-400, previamente passada em peneira com abertura 0,5 mm e pré-condicionada de acordo com a técnica estabelecida por Raij *et al.* (1986). Para a extração, foi medido $2,5 \text{ cm}^3$ de terra fina seca ao ar para frasco plástico de 80 ml, provido de tampa. Acrescentou-se 25 ml de água destilada e uma bolinha de vidro. Esta fase consiste em desagregar o solo com o auxílio da bolinha por agitação durante quinze minutos. Posteriormente, foi retirado a bolinha do frasco e colocou-se $2,5 \text{ cm}^3$ de resina (condicionada) em frasco fechado e foi agitado a suspensão solo-resina-água, por 16 h, em movimento circular a 220 rpm. No dia seguinte, a resina foi separada com auxílio de jato de água e lavada até parar de sair argila. Para a extração do P contido na resina, utilizou-se exatamente 50 ml da solução de NH_4Cl 0,8N + HCl 0,2N e que ficou em contato com a resina por trinta minutos para eliminar o gás carbônico; após este período, os frascos foram fechados e agitados por uma hora, a 220 rpm. O extrato foi utilizado para determinação do fósforo, através do método colorimétrico.

c) extração com o Mehlich 3 - O procedimento analítico foi realizado com base no método original descrito por Mehlich (1984). A solução extratora correspondeu a uma mistura de ácido acético (0,2N - CH_3COOH), nitrato de amônio (0,25N - NH_4NO_3), fluoreto de amônio (0,015N - NH_4F), ácido nítrico (0,013N - HNO_3) e EDTA (0,001M). O EDTA foi solubilizado separadamente com fluoreto de amônio, formando uma solução estoque, para posterior mistura com os demais reagentes, conforme preconiza o método original. O pH final da solução ficou em $2,5 \pm 0,1$. Para a extração foram utilizados $2,5 \text{ cm}^3$ de terra fina seca ao ar em 25 cm^3 da solução extratora e procedeu-se a agitação por cinco minutos. Os demais procedimentos analítico para essa análise foram idênticos ao Mehlich 1.

3.4. Características avaliadas

Aos 56 dias após a semeadura, no estágio de floração plena, efetuaram-se a medida da altura de plantas, a contagem do número de folhas trifolioladas e o corte da parte aérea das plantas rente ao solo para posterior análise química e determinação de matéria seca total. A parte aérea foi lavada com água corrente e posteriormente água destilada, passou por uma pré secagem ao natural, e depois foi acondicionada em saco de papel perfurado, para completar a secagem em estufa, com circulação de ar forçado, à temperatura de aproximadamente 70°C até peso constante. A seguir, a matéria seca foi pesada e moída separadamente em moinho tipo Wilye provido de peneira de aço inoxidável com 20 malhas por polegada (0,42 mm).

Os teores de fósforo nos tecidos das plantas de feijão foram determinados por via úmida, de acordo com a metodologia descrita por Malavolta *et al.* (1989), consistindo na digestão nítrico-perclórica, e utilizando do método colorimétrico do metavanadato, para determinação do elemento.

Também foi coletada amostra de terra de cada vaso, homogeneizada, acondicionada em saco de papel de 0,5 kg e seca ao ar, para a obtenção de terra fina seca ao ar (TFSA), passada em peneira com malhas de 2 mm de abertura, após a moagem.

3.5. Delineamento Experimental e Análises Estatísticas

Foram utilizadas três fontes de fósforo (superfosfato triplo, fosfatos naturais de Araxá e de Gafsa), em cinco doses de P (0, 50, 150, 450 e 600 mg P.kg⁻¹ de solo), em dois solos. Os tratamentos foram arranjados no esquema fatorial 5x3x2, no delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições.

As características avaliadas foram submetidas à análise de variância e de regressão, ao nível de significância de 5%. As fontes de fósforo foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5% e o efeito das doses aplicadas através de equações de regressão. A eficiência dos extratores foi avaliada empregando-se como parâmetro de disponibilidade de P, a correlação de teores de P no solo, extraídos pelos métodos de Mehlich 1, Mehlich 3 e Resina Trocadora de Íons, com a produção de matéria seca, fósforo acumulado na parte aérea, número de folhas trifolioladas e altura de plantas, para as fontes de P e tipos de solos utilizados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Comparação dos fosfatos empregados

O resumo das análises de variância das características avaliadas para o feijoeiro são apresentadas nas Tabela 2. Observa-se que ocorreu efeito significativo em todas as interações solo, fonte e dose, para as características estudadas, com exceção para os efeitos de solos e fontes, no caso de altura de plantas.

Como a análise de variância destes caracteres revelou efeito significativo para todas as interações dos fatores, foram ajustadas curvas de resposta para a produção de matéria seca, o fósforo acumulado na parte aérea, a altura de plantas e o número de folhas trifolioladas, em função das doses aplicadas de P, para cada solo e fonte isoladamente.

Na Tabela 3 são mostradas, respectivamente, as médias observadas de produção de matéria seca da parte aérea, acúmulo de fósforo na parte aérea, altura de plantas, e número de folhas trifolioladas em função de fontes e doses de fósforo, para o Latossolo Vermelho-Escuro álico e Latossolo Roxo álico.

TABELA 2. Resumo da análise de variância relativo a matéria seca da parte aérea (MSPA), fósforo acumulado na parte aérea (ACPA), altura de plantas (ALP) e número de folhas trifolioladas (NFT) do feijoeiro. Dourados, MS. 1997.

Causas de variação	G.L.	Quadrados médios			
		MSPA	ACPA	ALP	NFT
Solo (S)	1	244,491**	1655,174**	2534,510**	78,683**
Fonte de P (F)	2	6061,793**	84322,313**	22816,737**	859,464**
Dose (D)	4	2557,591**	32028,312**	12935,799**	497,419**
Interação S x F	2	43,782**	401,963**	292,464 ^{NS}	5,077*
Interação S x D	4	50,898**	317,511**	484,312**	5,121*
Interação F x D	8	965,334**	18831,888**	3505,681**	86,2274**
Interação S x F x D	8	47,084**	280,060**	754,716**	2,552*
Resíduo	87	5,915	59,414	125,338	1,488
Média geral		13,876 (g.vaso ⁻¹)	37,241 (mg.vaso ⁻¹)	37,749 (cm)	8,551
C.V.		17,98%	21,23%	29,66%	14,27%

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

* = significativo a 5%, pelo teste F.

^{NS} = não significativo a 5%, pelo teste F.

TABELA 3. Produção de matéria seca da parte aérea (MSPA), acúmulo de fósforo na parte aérea (ACPA), altura de plantas (ALP) e número de folhas trifolioladas (NFT) para o feijoeiro, em função de fontes e doses de fósforo, no Latossolo Vermelho-Escuro álico (LEa) e Latossolo Roxo álico (LRa), médias de quatro repetições. Dourados, MS. 1997.

Característica	Solo	Fonte	Dose de P (mg.kg ⁻¹)					
			0	50	150	450	600	
MSPA (g.vaso ⁻¹)	LEa	ST	2,02 a	5,20 a	20,64 a	51,59 a	44,35 a	
		FG	2,14 a	3,44 a	5,77 b	13,37 b	18,13 b	
		FA	2,30 a	2,43 a	2,50 b	3,66 c	4,01 c	
	LRa	ST	2,61 a	9,30 a	38,78 a	56,02 a	41,55 a	
		FG	2,21 a	4,28 b	8,45 b	20,62 b	22,10 b	
		FA	2,18 a	2,26 b	3,02 c	5,64 c	5,35 c	
	ACPA (mg.vaso ⁻¹)	LEa	ST	1,65 a	5,57 a	36,09 a	177,65 a	188,01 a
			FG	1,69 a	3,41 a	6,99 b	23,02 b	31,64 b
			FA	1,74 a	1,93 a	1,97 b	3,46 c	4,12 c
LRa		ST	2,14 a	17,09 a	77,83 a	201,95 a	179,34 a	
		FG	1,94 a	5,31 ab	13,10 b	38,22 b	44,22 b	
		FA	1,85 a	1,95 b	2,79 c	6,41 c	6,23 c	
ALP (cm)		LEa	ST	11,33 a	17,25 a	49,42 a	115,21 a	83,08 a
			FG	11,83 a	13,50 a	20,50 b	55,54 b	57,58 b
			FA	10,92 a	10,75 a	12,58 b	13,17 c	14,63 c
	LRa	ST	12,00 a	32,33 a	110,33 a	97,33 a	88,33 a	
		FG	11,58 a	16,33 ab	30,83 b	80,67 b	78,50 a	
		FA	11,50 a	12,67 b	13,17 b	20,42 c	19,17 b	
	NFT	LEa	ST	3,08 a	4,83 a	11,50 a	22,25 a	19,83 a
			FG	3,33 a	3,75 a	5,67 b	10,63 b	12,25 b
			FA	3,42 a	3,17 a	3,54 c	4,17 c	4,71 c
LRa		ST	3,17 a	7,75 a	17,42 a	23,08 a	21,67 a	
		FG	3,58 a	5,42 b	7,33 b	13,67 b	13,88 b	
		FA	3,75 a	3,83 b	4,38 c	5,67 c	5,83 c	

Médias seguidas pela mesma letra, na vertical, para cada solo não diferem significativamente, ao nível de 5%, pelo teste de Tukey.

ST - Superfosfato Triplo.

FG - Fosfato de Gafsa.

FA - Fosfato de Araxá.

4.1.1. Matéria seca da parte aérea

Em relação à produção de matéria seca, os maiores valores foram obtidos com superfosfato triplo, que proporcionou resultados significativamente mais elevados que os demais fosfatos em todas as doses (Tabela 3). Esse resultado já era esperado, devido a alta solubilidade apresentada pelo superfosfato triplo, e que provavelmente foi favorecida pela correção da acidez das amostras de solo, antes do plantio da cultura, diminuindo a fixação do fósforo pelo solo, conforme citam Goedert & Lobato (1980) e Goedert *et al.* (1987).

A análise estatística desses resultados não mostrou diferenças entre as fontes na dose de 50 mg.kg⁻¹ no LEa, enquanto que a maior produção de matéria seca ocorreu no nível de 450 mg.kg⁻¹ para o superfosfato triplo. O LRa comportou-se de maneira semelhante ao outro solo, porém apresentou maiores valores para todas fontes utilizadas. Pode-se observar nos tratamentos com superfosfato triplo e fosfato de Gafsa, nas doses de 50 e 150 mg.kg⁻¹ de P no LRa uma diferença de 56 a 80% em relação ao outro solo.

As maiores produções de matéria seca no LRa para os fosfatos naturais, particularmente nas doses mais elevadas, quando comparado ao LEa, poderiam ser explicadas pelo maior teor de argila, assim como teores mais elevados de óxidos de ferro livre, favorecendo a solubilização para as fontes naturais. Resultados semelhantes foram obtidos por Dynia (1977) e Magalhães (1984), onde os fosfatos naturais apresentaram maior eficiência agrônômica em solos mais argilosos. Smith & Sanchez (1982), compararam a reatividade dos fosfatos naturais Carolina do Norte e Patos de Minas, em diferentes períodos de incubação com amostras de solos sob cerrado, e verificaram que a maior solubilização dos fosfatos ocorreu naqueles solos que apresentaram o mais alto conteúdo de argila e óxido de ferro livre e, conseqüentemente, a mais alta capacidade de adsorção de fósforo.

Entretanto, apesar da reação mais favorável neste solo para as fontes naturais, tanto o fosfato de Araxá como o de Gafsa mostraram-se ineficientes em

fornecer fósforo para as plantas, quando comparados ao superfosfato triplo, nos dois solos.

Os resultados intermediários verificados para o fosfato de Gafsa, em relação a fonte solúvel e ao fosfato de Araxá, talvez possam ser explicados pelo tamanho das partículas deste produto, que influenciou diretamente nas respostas das plantas (Ferreira & Kaminski, 1979). Os valores obtidos não concordam com o que tem sido constatado na literatura, onde boas respostas das plantas são verificadas com a aplicação deste fertilizante, como mostrados em experimentos à campo realizados por Cordeiro *et al.* (1979), Braga *et al.* (1991).

Uma das justificativas para os baixos rendimentos das plantas de feijão com relação ao fosfato de Gafsa, foi devido ao mesmo ter sido aplicado em sua forma natural (farelada), e estão de acordo com Ferreira & Kaminski (1979), que cultivando soja em casa de vegetação, observaram a ineficiência do fosfato de Gafsa granulado na liberação de fósforo para a soja, enquanto que a forma em pó mostrou-se equivalente ao superfosfato triplo.

Por outro lado, o comportamento do fosfato de Araxá nos dois solos foi bem inferior aos obtidos pela fonte solúvel, apresentando dados de produção de matéria seca muito baixos, não diferindo praticamente da testemunha (Tabela 3). Portanto o fosfato de Araxá foi ineficiente em fornecer fósforo para as plantas nos dois solos, fato que confirma os resultados obtidos por diversos pesquisadores (Ferreira & Kaminski, 1979; Magalhães, 1984; Braga *et al.*, 1991).

É provável que nas condições experimentais utilizadas para condução deste trabalho, em casa de vegetação, o tempo de reação do fosfato de Araxá aplicado trinta dias antes da calagem, não tenha sido suficiente para aumentar sua eficiência agrônômica, conforme preconiza Cantarutti *et al.* (1981).

Outrossim, Novais *et al.* (1980) e Novelino *et al.* (1985) afirmaram que a reação dos fosfatos naturais no solo pode, em função do tempo de incubação, formar produtos de menor disponibilidade de fósforo para as plantas. Cabala & Santana (1983) verificaram que o maior tempo de contato de fosfatos naturais

com o solo foi negativo para a disponibilidade de P para a planta, diminuindo a produção de matéria seca e P absorvido.

Em relação ao efeito das doses de P aplicadas aos solos estas influenciaram de maneira diferenciada na produção de matéria seca nas diferentes fontes, mas de maneira similar para os dois solos, conforme Figuras 1 e 2.

A produção de matéria seca da parte aérea, para o superfosfato triplo, aumentou segundo o modelo de regressão quadrática, em função dos níveis crescentes de P, aplicados no solo, atingindo a produção máxima no nível de 372 mg.kg⁻¹ de P para o LRa, e 492,5 mg.kg⁻¹ de P para o LEa.

Esses resultados podem ser comparados com os obtidos por Carvalho *et al.* (1995), que avaliaram a produção de matéria seca da parte aérea de feijão em casa de vegetação, em solos corrigidos com calcário, e encontraram valores diferentes para o nível crítico de fósforo nas plantas, conforme a textura do solo utilizado. Para um solo muito argiloso, o nível foi de 167,5 mg.kg⁻¹ de P, mas para o arenoso foi de 297,5 mg.kg⁻¹ de P.

Nas Figuras 1 e 2, vê-se o efeito contrastante da fonte solúvel em relação às outras duas nos dois solos, e nas diversas doses ao longo da curva, onde tanto para o fosfato de Gafsa como para o de Araxá se ajustaram a um modelo de regressão linear, em que a produção máxima não foi atingida com a utilização da dose máxima de 600 mg.kg⁻¹ de P.

Esses resultados observados para a fonte solúvel já eram previsíveis, devido à elevada solubilidade em água do superfosfato triplo, que coloca rapidamente na solução do solo quantidades consideráveis de fósforo, para absorção pelas raízes. Essa resposta à adição de fósforo, na forma de superfosfato triplo, concordam com Goedert & Lobato (1980) e Goedert & Souza (1986), e mostra uma curva típica de solos pobres em fósforo nativo disponível para as plantas.

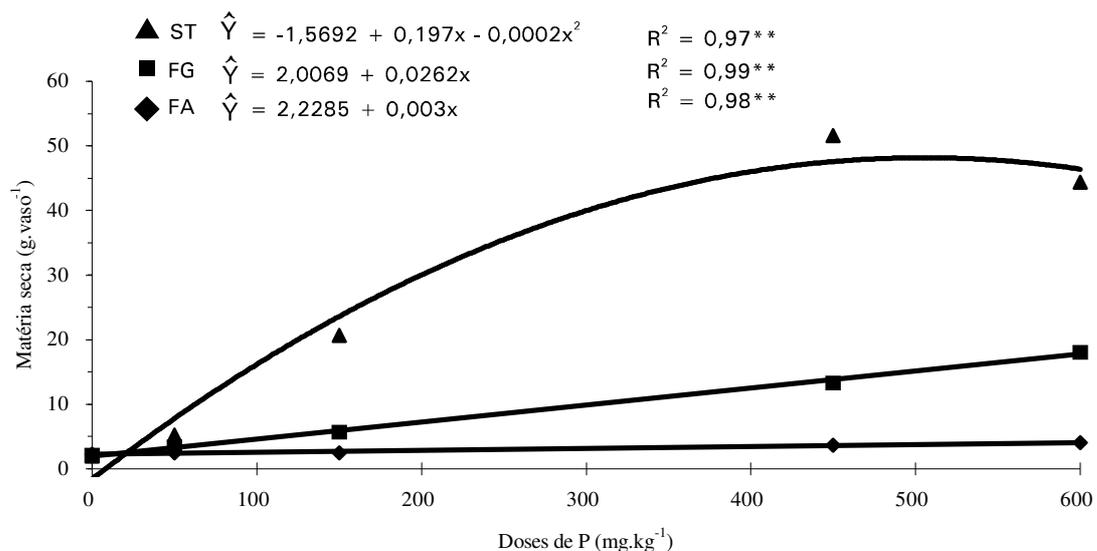


FIGURA 1. Curvas de resposta de matéria seca da parte aérea do feijoeiro, em função das doses de fósforo de diferentes fontes, no Latossolo Vermelho-Escuro álico. Dourados, MS. 1997.

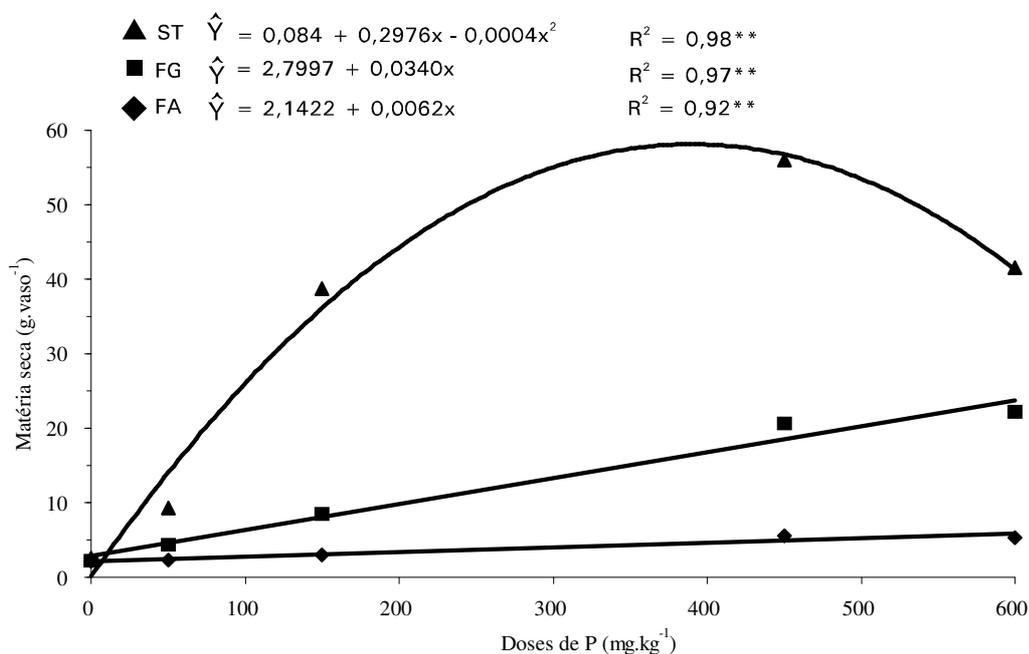


FIGURA 2. Curvas de resposta de matéria seca da parte aérea do feijoeiro em função das doses de fósforo de diferentes fontes, no Latossolo Roxo álico. Dourados, MS. 1997.

Por outro lado, o comportamento das fontes naturais demonstraram sua ineficiência e concordam com as inferências feitas por Vasconcellos *et. al.* (1986) que verificaram que a eficiência de fontes fosfatadas foi dependente do nível de P_2O_5 , granulometria e porcentagem de P_2O_5 total e solúvel em água.

As diferenças entre os fosfatos naturais com relação a sua solubilização podem ser atribuídas às suas constituições, pois, enquanto o fosfato de Araxá é um fosfato apatítico, com pequeno grau de substituição isomórfica em sua estrutura cristalina, o fosfato de Gafsa apresenta alto grau de substituição do PO_4^{-3} pelo CO_3^{2-} , sendo, por isto, mais facilmente solubilizado (Lehr & McLellan, 1972).

As curvas de respostas dos fosfatos naturais obtidas neste trabalho, visando a utilização desses materiais como fertilizantes, confirmam as conclusões de Khasawneh & Doll (1978) e Hammond *et al.* (1986) de que a eficiência agrônômica destes fertilizantes é afetada por origem geológica, granulometria, características físico-químicas do solo (pH, textura, teor de P), modo de incorporação, tempo de reação, espécie vegetal cultivada e outros fatores.

4.1.2. Acúmulo de fósforo na parte aérea

Comparando-se o acúmulo de fósforo absorvido na parte aérea do feijão (Tabelas 3), observou-se um comportamento similar ao apresentado na produção de matéria seca, onde o superfosfato triplo foi superior às outras fontes, em todas as doses para o LRa e, com exceção de 50 mg.kg^{-1} de P, para o LEa. Esses resultados são semelhantes aos obtidos por Brasil (1994) em casa de vegetação, com solos da Amazônia no primeiro cultivo, onde os melhores rendimentos em produção de matéria seca e P absorvido foram obtidos nos solos tratados com o superfosfato triplo.

O fosfato de Araxá, na dose mais elevada de P, proporcionou um valor de 3% para o LRa e de 2% para o LEa em relação a fonte solúvel, valores que

giraram em torno de 30 e 41% a mais que a testemunha nos respectivos solos, indicando pequena eficiência no suprimento do P, ratificando assim sua ineficiência em fornecer fósforo para as plantas (Tabela 3).

Constatou-se maior absorção de P proveniente do fosfato de Gafsa do que fosfato de Araxá, onde foram verificados valores maiores nas doses 450 e 600 mg.kg^{-1} de P para o LEa, enquanto que para o LRa todas as doses diferiram estatisticamente do fosfato de Araxá, conforme Tabela 3, demonstrando uma maior eficiência do solo mais argiloso (LRa). Os valores encontrados neste trabalho são semelhantes aos resultados obtidos por Dynia (1977), que trabalhando com solos que diferiam na capacidade de retenção de P, verificou que a eficiência do fosfato de Gafsa foi maior quando aplicados à solos com alto teor de argila e pH inferior a 6,0.

Porém, esses maiores valores obtidos para o LRa, discordam dos de Cordeiro *et al.* (1979) que em experimento conduzido no campo por um período de dois anos, num Latossolo Roxo distrófico, de textura argilosa, em Dourados, MS, com a cultura da soja, verificou que o fosfato de Gafsa teve uma eficiência média de 95% em relação ao superfosfato triplo, enquanto o fosfato Patos de Minas apresentou uma eficiência média de 62% em relação à fonte padrão.

A resposta à aplicação de doses crescentes de fósforo, em relação ao acúmulo de fósforo na parte aérea encontra-se nas Figuras 3 e 4. Os dados mostraram que o efeito das doses de P, para o superfosfato triplo se ajustaram melhor a uma equação de segundo grau para os dois solos, onde as respostas obtidas explicam o referido efeito em 98% para o LRa e 97% para o LEa.

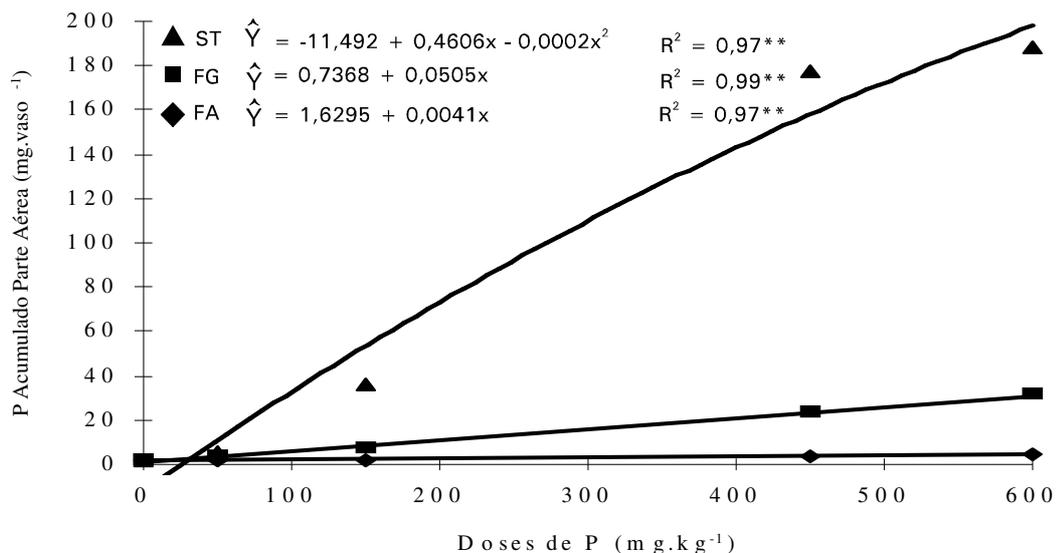


FIGURA 3. Curvas de resposta de acúmulo de fósforo na parte aérea do feijoeiro, em função das doses de fósforo de diferentes fontes, no Latossolo Vermelho-Escuro álico. Dourados, MS. 1997.

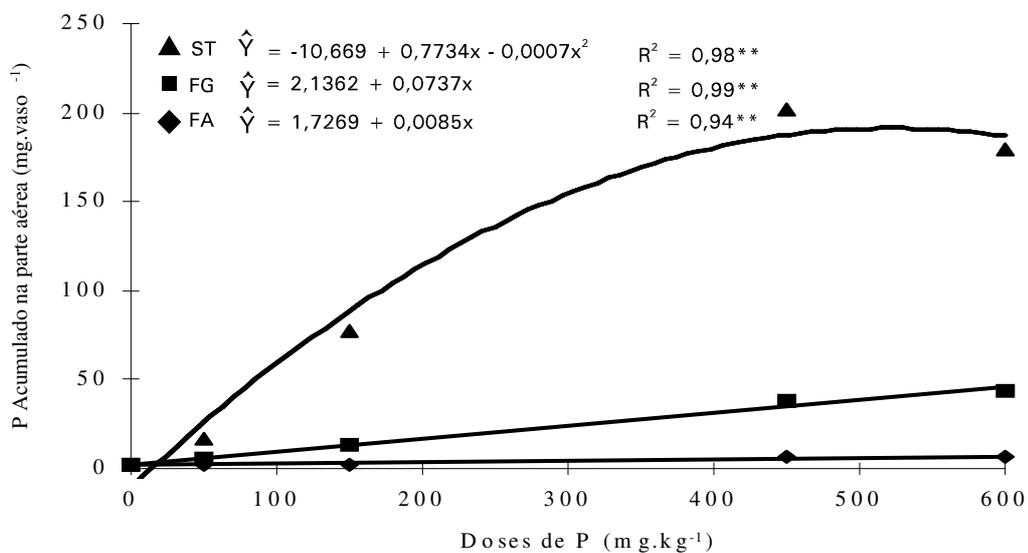


FIGURA 4. Curvas de resposta de acúmulo de fósforo na parte aérea do feijoeiro, em função das doses de fósforo de diferentes fontes, no Latossolo Roxo álico. Dourados, MS. 1997.

Entretanto, os fosfatos naturais tiveram um efeito linear para os dois solos em relação as doses de P aplicadas. As doses de fosfato de Araxá proporcionaram resposta linear para os dois solos, onde a dose mais alta praticamente não diferiu da testemunha, apesar de as equações ajustadas explicarem 97% e 94% da variação dos dados para o LEa e LRa, respectivamente. Estes resultados são concordantes com os obtidos por Ferreira & Kaminski (1979) que em ensaio conduzido com o fosfato Patos de Minas e Gafsa granulado verificaram a ineficiência dos mesmos na liberação de fósforo para diferentes doses aplicadas.

4.1.3. Altura de plantas

A comparação entre as médias de altura de plantas evidenciou que as fontes de fósforo proporcionaram efeitos significativos, demonstrando a superioridade do superfosfato triplo em relação as outras. A maior altura verificada para esta fonte no LRa e LEa foram nas doses de 150 e 450 mg.kg⁻¹ de P, com 110 e 115 cm, respectivamente (Tabela 3). Esses resultados são idênticos aos obtidos para o fósforo acumulado na parte aérea para o LEa. No LRa as doses de 150 e 450 mg.kg⁻¹ de P com o superfosfato triplo diferiram estatisticamente do fosfato de Gafsa.

Através da análise de regressão visualiza-se melhor o efeito das doses para cada fonte, onde observa-se que os dados ajustaram-se a uma equação linear para as fontes naturais e a uma equação quadrática para o superfosfato triplo, nos dois solos, conforme Figuras 5 e 6. O efeito quadrático para a fonte solúvel, indica que altura máxima foi atingida na dose de 463,5 e 369,3 mg.kg⁻¹ de P, no LEa e LRa, respectivamente.

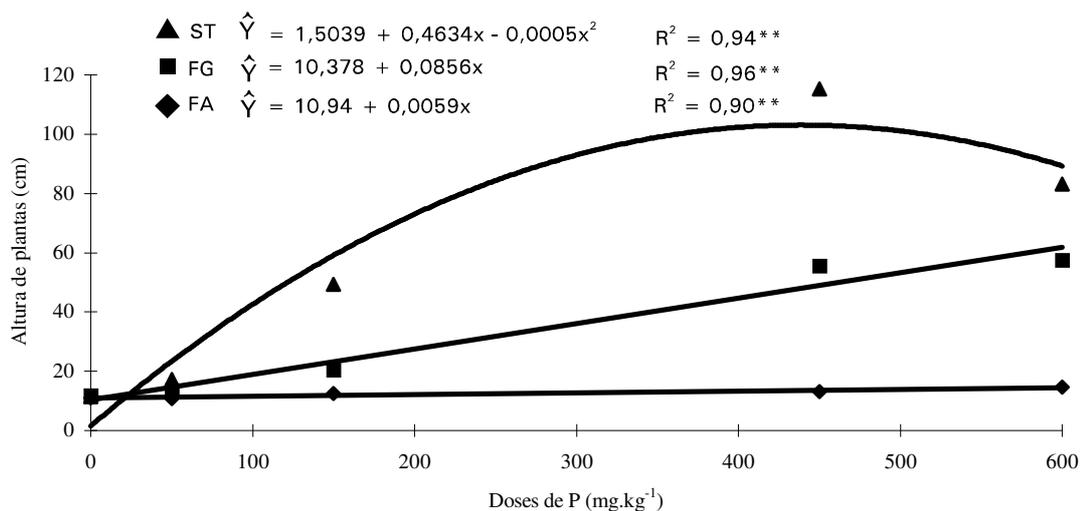


FIGURA 5. Curvas de resposta de altura de plantas do feijoeiro, em função das doses de fósforo de diferentes fontes, no Latossolo Vermelho-Escuro álico. Dourados, MS. 1997.

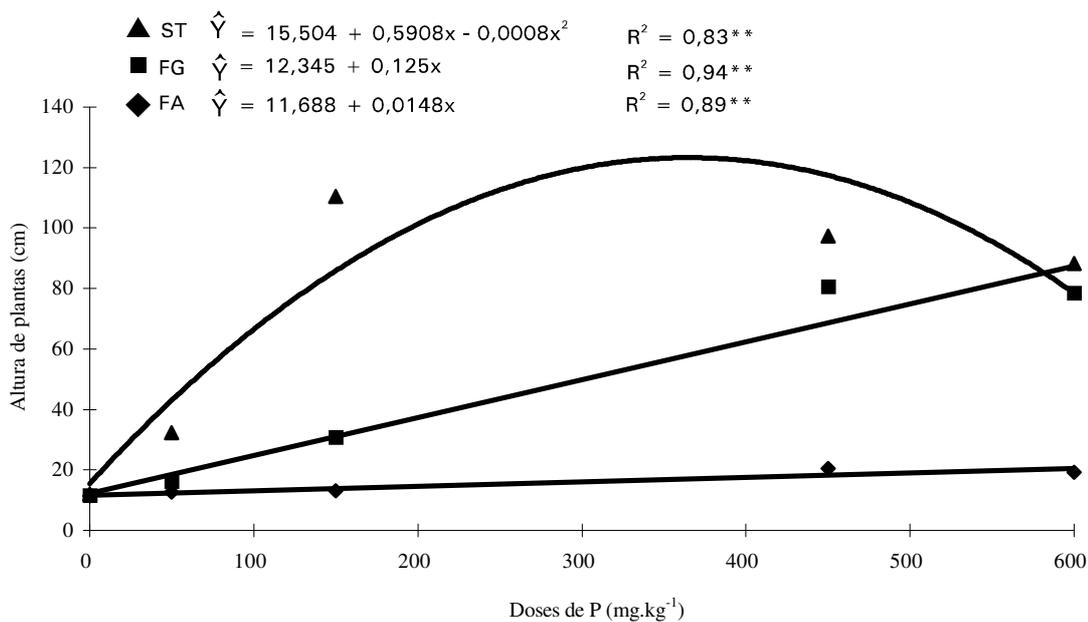


FIGURA 6. Curvas de resposta de altura de plantas do feijoeiro, em função das doses de fósforo de diferentes fontes, no Latossolo Roxo álico. Dourados, MS. 1997.

4.1.4. Número de folhas trifolioladas

Para a variável número de folhas trifolioladas, verificou-se que ocorreu diferenças significativas entre as fontes de P aplicadas para os dois solos, tal como ocorreu em relação à produção de matéria seca da parte aérea, exceto para o LEa no nível de 150 mg.kg^{-1} de P, que mostrou diferença para os fosfatos naturais pelo teste de médias, Tukey a 5%. A dose de 450 mg.kg^{-1} de P da fonte solúvel promoveu o maior número de folhas trifolioladas, independente do solo utilizado. O fosfato de Araxá não demonstrou efeito nos solos para esta característica avaliada, onde a dose mais elevada praticamente não diferiu da testemunha (Tabela 3).

Nas Figuras 7 e 8 são apresentados os efeitos das doses de P no número de folhas trifolioladas do feijoeiro. Pela análise de regressão polinomial, verificou-se um comportamento semelhantes as demais características avaliadas, com exceção do efeito quadrático para o fosfato de Gafsa no LRa, onde a equação obtida explica em 99% o efeito das doses, e na dose de $551,7 \text{ mg.kg}^{-1}$ de P foi alcançado o número máximo de folhas trifolioladas. O efeito quadrático para o superfosfato triplo, indica que o número máximo de folhas trifolioladas alcançado foi atingido na dose de 496,8 e 495 mg.kg^{-1} de P, no LEa e LRa respectivamente.

4.2. Relação entre as características de crescimento do feijoeiro

O grau da relação entre as características de crescimento avaliadas pode ser mostrado na Tabela 4. Observa-se que foram obtidos coeficientes de correlação altamente significativos para as características de crescimento avaliadas, mostrando o efeito das fontes e níveis de fósforo para os dois solos avaliados, ou mesmo independente do solo. Os menores valores observados para todos os coeficientes de correlação variaram de 0,972 no LEa, 0,951 no LRa e 0,960 no geral, mas todos significativos ao nível de 1%. Resultados semelhantes foram obtidos por Magalhães (1984).

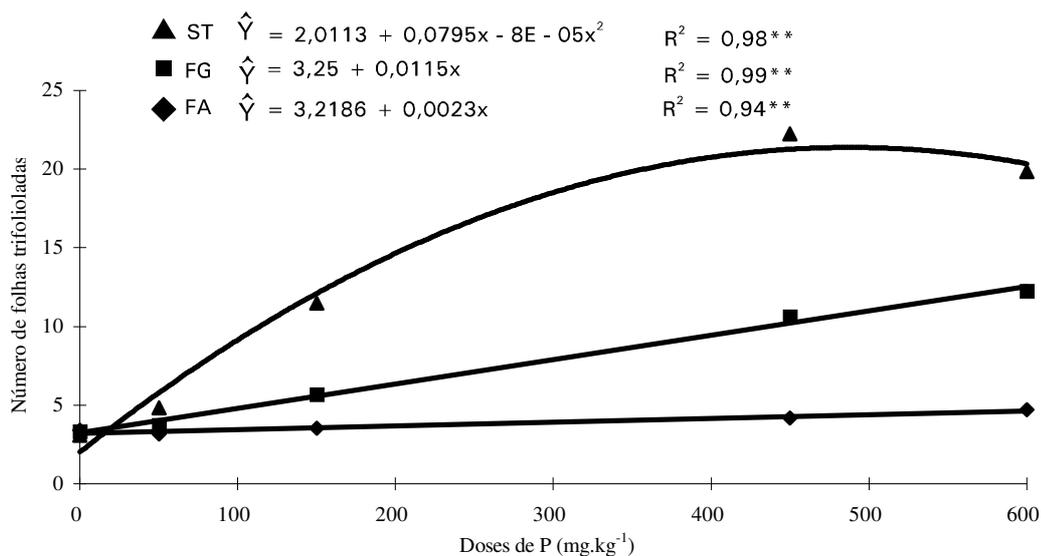


FIGURA 7. Curvas de resposta de número de folhas trifolioladas do feijoeiro, em função das doses de fósforo de diferentes fontes, no Latossolo Vermelho-Escuro álico. Dourados, MS. 1997.

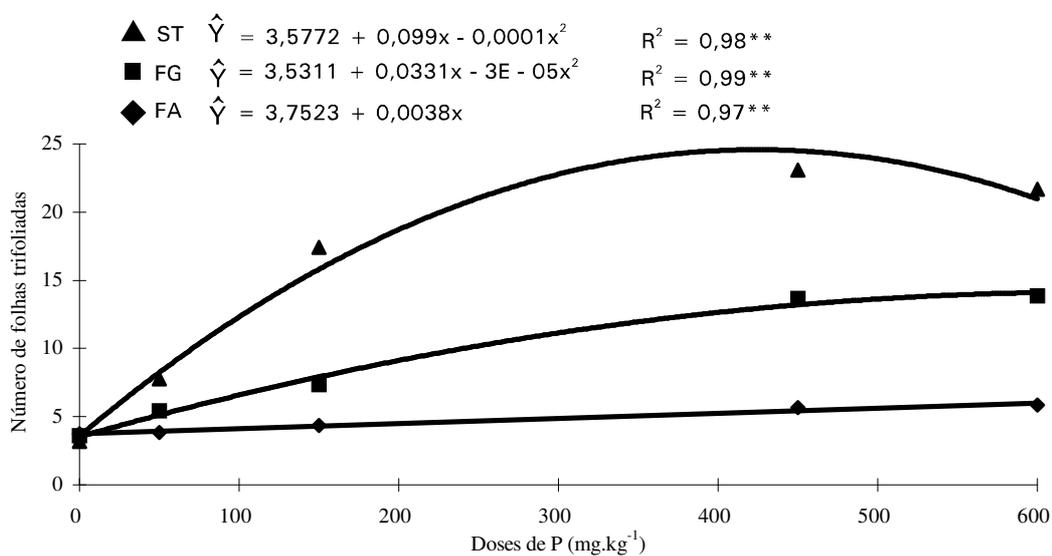


FIGURA 8. Curvas de resposta de número de folhas trifolioladas do feijoeiro em função das doses de fósforo de diferentes fontes, no Latossolo Roxo álico. Dourados, MS. 1997.

TABELA 4. Coeficientes de correlação entre o número de folhas trifolioladas (NFT), a matéria seca da parte aérea (MSPA), o acúmulo de fósforo na parte aérea (ACPA) e a altura de plantas (ALP) para o feijoeiro, avaliados em função de cada solo e geral. Dourados, MS. 1997.

Característica	Coeficiente de Correlação (r)		
	NFT	MSPA	ACPA
Latossolo Vermelho-Escuro álico			
ALP	0,990**	0,971**	0,904**
NFT	-	0,987**	0,935**
MSPA	-	-	0,972**
Latossolo Roxo álico			
ALP	0,952**	0,929**	0,795**
NFT	-	0,983**	0,934**
MSPA	-	-	0,951**
Geral			
ALP	0,969**	0,947**	0,843**
NFT	-	0,984**	0,933**
MSPA	-	-	0,960**

** Significância ao nível de 1% de probabilidade.

4.3. Avaliação da eficiência dos extratores

4.3.1. Teor de fósforo nos solos

A análise de variância realizada para os valores de P extraído em função dos solos, fontes e doses de fósforo, encontra-se na Tabela 5.

Na Tabela 6 são apresentados os teores médios de P extraído pelos métodos Mehlich 1, Mehlich 3 e Resina Trocadora de Íons nos solos LEa e LRa, obtidos em amostras de terra coletadas após o corte das plantas de feijão.

Verifica-se pelos dados apresentados nesta Tabela 6, que os teores de fósforo no solo variaram em função dos tipos de solos, fontes e doses de P aplicados e extratores utilizados. De maneira geral, os teores de P determinados pelos extratores refletiram as características de solubilidade dos fosfatos utilizados.

TABELA 5. Resumo da análise de variância para os teores de fósforo pelos extratores Mehlich 1 (M1), Mehlich 3 (M3) e Resina (R), em amostras de solos coletadas após a colheita do feijoeiro. Dourados, MS. 1997.

Causas de variação	G.L.	Quadrados médios		
		M1	M3	R
Solo (S)	1	91173,999**	49248,011**	3181,670*
Fonte de P (F)	2	64288,415**	45709,097**	131532,346**
Dose (D)	4	770251,483**	70564,324**	126867,314**
Interação S x F	2	608,721 ^{NS}	6890,161**	2029,432*
Interação S x D	4	19192,541**	9394,023**	553,392 ^{NS}
Interação F x D	8	17134,403**	3564,678**	3327,369**
Interação S x F x D	8	547,877**	1832,110**	313,474 ^{NS}
Resíduo (M1)	89	697,895	-	-
Resíduo (M3)	89	-	66,153	-
Resíduo (R)	88	-	-	527,738
Média geral		162,732	52,938	76,382
C.V.		16,37%	15,49%	30,59%

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

* = significativo a 5%, pelo teste F.

^{NS} = não significativo a 5%, pelo teste F.

TABELA 6. Fósforo extraído pelos métodos Mehlich-1, Mehlich-3 e Resina Trocadora de Íons, em amostras dos solos Latossolo Vermelho-Escuro álico (LEa) e Latossolo Roxo álico (LRa), após o corte das plantas de feijão (médias de quatro repetições)*. Dourados, MS. 1997.

Tratamento ^a	Mehlich-1		Mehlich-3		Resina	
	LEa	LRa	LEa	LRa	LEa	LRa
	-----mg.dm ⁻³ -----					
FA 0	4,40	3,85	4,65	2,13	7,60	9,40
FA 50	29,68	17,38	12,03	4,85	9,35	12,45
FA 150	97,28	67,90	26,80	10,50	13,65	17,60
FA 450	335,43	263,23	73,45	25,90	22,63	29,25
FA 600	464,00	346,15	83,00	32,45	25,55	32,40
FG 0	5,25	4,13	4,93	3,10	9,68	10,90
FG 50	31,43	25,10	15,03	7,50	15,33	31,25
FG 150	121,70	91,70	33,88	14,25	30,10	52,08
FG 450	393,45	280,63	91,08	37,58	106,37	135,88
FG 600	594,90	458,40	114,58	67,50	145,53	209,58
ST 0	5,35	4,63	4,93	3,78	11,10	13,08
ST 50	21,73	11,65	21,40	8,60	26,58	26,08
ST 150	78,15	33,68	65,18	19,55	68,68	64,40
ST 450	290,95	151,05	219,10	97,80	247,20	240,40
ST 600	360,43	247,73	321,33	148,10	310,08	319,15

*Estes dados não foram analisados estatisticamente pelo teste de médias.

^a Doses de P (0, 50, 150, 450 e 600 mg.kg⁻¹ de solo).

FA - Fosfato de Araxá.

FG - Fosfato de Gafsa.

ST - Superfosfato Triplo.

Nas condições em que o trabalho foi desenvolvido, verificaram-se comportamentos específicos de cada método, em relação a sua ação extratora sobre o fósforo no solo.

Os valores obtidos, permitiram as seguintes observações quanto às concentrações de P extraído pelos diferentes métodos: a) nos tratamentos com o superfosfato triplo a ordem foi Resina > Mehlich 1 > Mehlich 3 (LEa e LRa); b) nos tratamentos com o fosfato de Araxá a ordem foi o Mehlich 1 > Mehlich 3 >

Resina (LEa) e Mehlich 1 > Resina > Mehlich 3 (LRa); c) nos tratamentos com o fosfato de Gafsa a ordem foi o Mehlich 1 > Resina > Mehlich 3 (LEa e LRa); d) na testemunha: Resina > Mehlich 1 > Mehlich 3.

Nos dois solos, com o extrator de Mehlich 1, ocorreram os maiores teores de P nas amostras de terra tratadas com fosfato de Araxá e fosfato de Gafsa (Tabela 6), mostrando a ação energética de extração deste método sobre os constituintes de solos que possuem resíduos inalterados de fosfato natural, ou seja, a dissolução de formas de P não disponíveis para as plantas. Resultados semelhantes têm sido obtidos por diversos pesquisadores (Sfredo *et al.*, 1979; Goedert & Lobato, 1980; Cabala & Wild, 1982; Brasil, 1994). De acordo com Thomas & Peaslee (1973) os extratores ácidos possuem a propriedade de aumentar a solubilidade de fosfatos básicos do solo, como a apatita, nativos ou adicionados, superestimando os teores de fósforo que estariam teoricamente disponíveis para as plantas. Os resultados obtidos enquadram-se nas afirmações destes últimos autores, devido as respostas das plantas de feijão não serem correspondentes aos valores de fósforo obtido pelo extrator de Mehlich 1. Novelino *et al.* (1985) afirmam que valores superestimados do P disponível são verificados em solos com predomínio de P-Ca, devido a sua gênese ou pela utilização prévia de fosfatos naturais de baixa solubilidade, como as apatitas. Os teores de fósforo extraídos pelo Mehlich 1 para o fosfato de rocha de Araxá neste experimento estão condizentes com essa afirmação

Para os tratamentos com a aplicação de superfosfato triplo, os teores de fósforo obtidos pelo extrator de Mehlich 1 não demonstraram tendência diferentes dos resultados apresentados pelos outros extratores, e concordam com Lopes *et al.* (1982) e Holanda *et al.* (1994), que relataram que o extrator de Mehlich 1 vem se apresentando razoavelmente adequado como indicador da disponibilidade de P nos solos sem adubação e com aplicação de adubos fosfatados solúveis.

Outro aspecto verificado são os valores inferiores de P disponível obtidos no LRa em relação ao LEa, tanto com o uso de fosfatos naturais, como de fonte

solúvel, para o extrator de Mehlich 1. De acordo com Thomas & Peaslee (1973), Kamprath & Watson (1980) e Novais *et al.* (1993) valores subestimados para o extrator de Mehlich 1 são observados em solos argilosos e, de modo especial, para aqueles com pH mais elevado, em razão de seu poder de extração ser diminuído pelo próprio solo, devido aos teores de óxidos de ferro e argila. Assim, no LRa os níveis críticos foram menores que no LEa e estes resultados são condizentes com Novais & Kamprath (1979), Freire *et al.* (1979) e Muniz *et al.* (1987) que determinaram valores superiores dos níveis críticos para solos arenosos em relação aos argilosos.

Raij (1978), além das restrições citadas anteriormente para o uso de extratores ácidos de fósforo no Brasil, acrescenta que, devido ao fato do P-lábil encontrar-se em solos ácidos adubados, preferentemente na forma de fosfatos de alumínio, devem ser preferidos extratores ou métodos que tenham maior ação de dissolver esta fração, como o Bray 1 e a Resina Trocadora de Íons.

Pelos resultados obtidos com o método da resina nos solos tratados com fertilizantes fosfatados naturais, verificou-se que para o fosfato de Araxá a resina extraiu menos de 20% para os dois solos em relação a fonte solúvel, nas doses de 450 e 600 mg.kg⁻¹ de P. Porém, para o fosfato de Gafsa no LEa os valores obtidos variaram em torno de 50% dos obtidos para o superfosfato triplo nas duas maiores doses. No LRa e nas doses de 50 e 150 mg.kg⁻¹ de P os valores de P extraído praticamente não diferiram da fonte de alta solubilidade, enquanto que nas maiores doses (450 e 600 mg.kg⁻¹ de P) ficaram em torno de 50%. Esses resultados podem ser justificados por uma maior interação das partículas do fosfato de Gafsa com o solo, favorecendo maior solubilização e remoção de fósforo pela resina.

Esses resultados evidenciam que a extração de fósforo pela Resina Trocadora de Íons mostra-se pouca afetada por resíduos de fosfatos naturais no solo. Raij *et al.* (1986) citam que a resina trocadora de íons é pouco afetada pelos citados elementos, em parte devido ao efeito tamponamento da suspensão em pH pouco abaixo da neutralidade e à presença de íons bicarbonato.

Resultados similares foram obtidos por Raij & Diest (1980), onde verificaram que a Resina Trocadora de Ânions mostrou-se mais eficiente em retirar fósforo do solo tratado com superfosfato triplo, seguidos de hiperfosfato e fosfato de alumínio calcinado, indicando valores menores para os tratamentos com os fosfatos naturais Alvorada e Patos de Minas. Já com o extrator de Mehlich 1, as maiores quantidades de fósforo foram extraídas dos tratamentos com os fosfatos Patos de Minas e Alvorada, seguidos de hiperfosfato, superfosfato e, por último fosfato de alumínio calcinado.

Neste trabalho, verificou-se que no Latossolo Roxo álico, adubado com a fonte solúvel a resina não teve seu poder de extração alterado, não subestimando, assim o P lábil. Os valores de fósforo extraído pelo método da resina neste solo também foram maiores do que os obtidos para os outros dois métodos testados (Mehlich 1 e Mehlich 3) e, são concordantes com as afirmações de Raij *et al.* (1986).

Os teores de P no solo obtidos pelo extrator de Mehlich 3 em termos gerais apresentaram valores inferiores aos observados para os demais extratores, principalmente nos tratamentos com fosfatos de Araxá e de Gafsa, onde foram observados os mais baixos teores de fósforo no solo. Essa capacidade distinta de extração do fósforo desse extrator deve estar associada ao modo de ação do extrator, bem como às interações do fósforo com a calagem e tipos de fontes de P utilizados. Esses resultados indicam a ação mais moderada do ácido acético na decomposição da apatita, em relação aos ácidos minerais equivalentes, presentes em outros extratores, conforme Mehlich (1984).

Estes menores valores encontrados para o Mehlich 3 talvez possam estar relacionados a algum efeito da aplicação de calcário, efetuada no início do experimento, além da presença de cálcio na composição dos adubos utilizados (superfosfato triplo, fosfato de Gafsa e fosfato de Araxá), promovendo a diminuição do poder extrativo dos reagentes. Também pode ter ocorrido uma hidrólise dos fosfatos de Al ou Fe, não removendo fosfatos de cálcio, conforme

mencionado por Braga & Defelipo (1972) e Barbosa Filho *et al.* (1987) para o extrator Bray 1.

4.3.2. Correlação entre as quantidades de P extraído e as respostas do feijoeiro, considerando as fontes de P utilizadas

Na Tabela 7 encontram-se os coeficientes de correlação entre os teores de P extraído através do método Mehlich 1, Mehlich 3 e resina, e altura de plantas, número de folhas trifolioladas, matéria seca da parte aérea e acúmulo de fósforo na parte aérea, para cada uma das fontes utilizadas. Os resultados demonstram que as fontes de fósforo empregadas no experimento, influenciaram significativamente as correlações obtidas pelos três métodos com as características das plantas de feijão.

Verificaram-se altos coeficientes de correlação obtidos entre o P extraído pelo Mehlich 1 e o fósforo acumulado na parte aérea, nos solos tratados com fosfatos de rocha de origem metamórfica e sedimentar. Estes coeficientes de correlação apresentaram valores de $r=0,758^{**}$ e $r=0,867^{**}$, para os fosfatos de Araxá e de Gafsa, respectivamente. Apesar disso, pode-se afirmar que a elevada capacidade extratora do método, promoveu a remoção de altas quantidades de P do solo, sem a devida correspondência com a resposta biológica da plantas de feijão, como se pode verificar no crescimento das plantas e fósforo absorvido (Tabela 3). A correlação deve estar associada ao fato de que com a elevação da dose cresceu o P absorvido, embora em níveis bem inferiores ao observado no tratamento com superfosfato triplo. Esses problemas apresentados para o extrator de Mehlich 1 tem sido relatado por diversos pesquisadores (Raij, 1978; Sfredo *et al.*; 1979; Goedert & Lobato, 1980; Brasil, 1994). Segundo Kamprath & Watson (1980) os extratores ácidos extraem mais fósforo ligado a cálcio e apenas pequena proporção ligado ao alumínio e ferro. Quando são adicionados aos solos fosfatos naturais de baixa solubilidade, o extrator Mehlich 1 pode dissolver

resíduos não disponíveis as plantas desses adubos, ou seja, extração de quantidades de fósforo superiores aquelas consideradas disponíveis (Doll *et al.*, 1960; Barnes & Kamprath, 1975). Além disso, o pH dos extratores ácidos é inadequado para a solubilização de fosfatos de ferro e alumínio e é extremamente favorável para a extração de fosfatos de cálcio, mesmo em formas não lábeis (Raij, 1991).

Com relação aos teores de P no solo, obtidos pelo método da resina (Tabela 6), estes apresentaram boa correlação com a resposta das plantas de feijão, mostrando que nos dois solos estudados, foi o método que mais se adequou às variações observadas na produção de matéria seca da parte aérea, P acumulado na parte aérea, altura de plantas e número de folhas trifolioladas, em resposta a aplicação das fontes de fósforo testadas.

Com o método da resina, as características de crescimento avaliadas, foram consideravelmente superiores aos demais métodos, demonstrando a sensibilidade do extrator tanto para o fosfato de rocha de origem metamórfica e sedimentar, como para a fonte mais solúvel. Como exemplo, poderia ser citado a produção de matéria seca no fosfato de Araxá, onde foi obtido um alto coeficiente de correlação, na ordem de $r=0,957^{**}$, superiores aos observados para o Mehlich 1. Esses resultados são semelhantes aos verificados por Raij & Diest (1980), Cabala & Wild (1982), Braga *et al.* (1991) e Holanda *et al.* (1994) que o consideram como um dos mais adequados para estimativa do fósforo disponível em solos que receberam fertilização com fosfatos de diferentes natureza. Raij *et al.* (1982), mostraram a superioridade da resina em relação aos outros métodos utilizados, sendo os resultados pouco afetados por resíduos de fosfatos naturais existentes no solo.

TABELA 7. Coeficientes de correlação entre os teores de P no solo, extraídos pelos métodos Mehlich 1, Mehlich 3 e Resina Trocadora de Íons, e altura de plantas (ALP), número de folhas trifolioladas (NFT), matéria seca da parte aérea (MSPA) e acúmulo de fósforo na parte aérea (ACPA) do feijoeiro, para fontes de fósforo. Dourados, MS. 1997.

Método	Coeficiente de Correlação (r)			
	ALP	NFT	MSPA	ACPA
Fosfato de Araxá				
Mehlich-1	0,644*	0,710*	0,782**	0,758**
Mehlich-3	0,281 ^{N.S.}	0,353 ^{N.S.}	0,465 ^{N.S.}	0,421 ^{N.S.}
Resina	0,908**	0,944**	0,957**	0,953**
Fosfato de Gafsa				
Mehlich-1	0,839**	0,888**	0,885**	0,867**
Mehlich-3	0,698*	0,761**	0,743*	0,714*
Resina	0,955**	0,965**	0,976**	0,984*
Superfosfato Triplo				
Mehlich-1	0,680*	0,798**	0,778**	0,885**
Mehlich-3	0,605 ^{N.S.}	0,714*	0,706*	0,812**
Resina	0,741*	0,887**	0,858**	0,964**

** Significância ao nível de 1% de probabilidade

* Significância ao nível de 5% de probabilidade

^{N.S.} Não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Os resultados com Mehlich 3 apresentaram correlações não significativas entre o P extraído e as respostas da planta, nos solos tratados com fosfato de Araxá, e as mais baixas correlações significativas com fosfato de Gafsa (Tabela 7). Estes resultados discordam de Brasil (1994) que obteve coeficiente de correlação superior para o extrator de Mehlich 3, em relação aos demais métodos utilizados, quando da utilização do fosfato natural Carolina do Norte. Analisando-se os teores de fósforo contidos na Tabela 6, verifica-se que essas baixas correlações do método com os caracteres da planta, foram devidas, principalmente, à sua baixa capacidade de extração, principalmente na apatita de baixa reatividade. O extrator de Mehlich 3 distingue, com certa versatilidade,

solos tratados com fosfato natural, daqueles que receberam aplicação de fosfatos solúveis. Esses resultados podem ser comparados aos obtidos por Smith *et. al.* (1957), que verificaram que o extrator Bray 1 demonstrou diferenciação de extração de solos tratados com fontes solúveis daqueles adubados com fosfato natural, e citam, ainda, que as porções do fosfato natural não solubilizadas nos solos não foram atingidas pelo extrator. Portanto, é provável que as baixas correlações obtidas com o extrator de Mehlich 3 sejam devidas ao fato das plantas removerem fósforo solubilizado dos fosfatos naturais, antes que estes passem para a forma lábil, enquanto que o extrator parece extrair outras formas.

Nos tratamentos que receberam aplicação de superfosfato triplo foram obtidos elevados coeficientes de correlação para todos os extratores. Estes resultados mostraram que quando são utilizados fertilizantes mais solúveis, as reações do solo com os fertilizantes são quase que totalmente completadas, de forma que tanto a resina como extratores ácidos podem ser utilizados satisfatoriamente, concordando com os resultados obtidos por outros pesquisadores (Sfredo *et. al.*, 1979; Corrêa & Haag, 1993; Holanda *et al.*, 1994). A mais baixa correlação obtida para o extrator de Mehlich 3, talvez possa ser explicada pelas elevadas doses de P utilizadas, como também a presença de Ca proveniente da calagem e na fonte solúvel, que podem ter afetado a sua sensibilidade de extração do P aplicado, provocando uma menor extração de P nas doses mais elevadas, muito embora, Barbosa Filho *et. al.* (1987) afirmaram que o superfostato triplo não possui na sua constituição, fosfato insolúvel, sendo portanto, imediatamente convertido em P-Fe e P-Al, quando adicionado ao solo.

4.3.3. Coeficientes de correlação entre as quantidades de P extraído e as respostas do feijoeiro, considerando os tipos de solos

Para avaliar a sensibilidade dos métodos de extração de fósforo nos solos utilizados, os dados foram agrupados por tipos de solo, efetuando-se correlações

TABELA 8. Coeficientes de correlação entre os teores de P no solo, extraídos pelos métodos de Mehlich 1, Mehlich 3 e Resina Trocadora de Íons, e altura de plantas (ALP), número de folhas trifolioladas (NFT), matéria seca da parte aérea (MSPA) e acúmulo de fósforo na parte aérea (ACPA) do feijoeiro, para os solos utilizados. Dourados, MS. 1997.

Método	Coeficiente de Correlação (r)			
	ALP	NFT	MSPA	ACPA
	Latossolo Vermelho-Escuro álico			
Mehlich-1	0,513*	0,521*	0,428 ^{N.S.}	0,362 ^{N.S.}
Mehlich-3	0,860**	0,910*	0,912**	0,936**
Resina	0,934**	0,964**	0,956**	0,954**
	Latossolo Roxo álico			
Mehlich-1	0,402 ^{N.S.}	0,400 ^{N.S.}	0,293 ^{N.S.}	0,251 ^{N.S.}
Mehlich-3	0,691**	0,845**	0,794**	0,887**
Resina	0,786**	0,894**	0,834**	0,879**

** Significância ao nível de 1% de probabilidade.

* Significância ao nível de 5% de probabilidade.

^{N.S.} Não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

entre os teores de P extraído e as características de crescimento avaliadas para as plantas de feijão, que são apresentadas na Tabela 8.

O extrator de Mehlich 1 apresentou as mais baixas correlações com as características das plantas de feijão, nos dois solos utilizados, apresentando coeficientes de correlação não significativos para a maioria das características avaliadas, com exceção de altura de plantas e número de folhas trifolioladas para o LEa. Estes valores devem estar relacionados à elevada capacidade de extração de fósforo, em virtude de dissolução de formas de P não disponíveis às plantas, mesmo em situações onde as plantas possuem dificuldades em absorver o elemento. Sua ação consiste na solubilização de fosfatos de cálcio, de alumínio e de ferro, pelos íons hidrogênio presentes. Em solos que contêm esses três fosfatos, a ordem de remoção esperada é fosfatos de cálcio > fosfatos de alumínio > fosfatos de ferro (Thomas & Peaslee, 1973). A baixa correlação no LRa com

relação a fonte solúvel, indicam que em solos com altos teores de óxido de ferro e de argila, os teores obtidos normalmente são baixos pela exaustão do extrator (Thomas & Peaslee, 1973; Kamprath & Watson, 1980).

Os maiores valores observados no LEa (Tabela 8), assim como maiores correlações obtidas são condizentes com os dados de Kamprath & Watson (1980), os quais afirmam que a maior concentração de fósforo em solução, em solos arenosos, está normalmente associada a baixos valores de capacidade tampão. Para a mesma quantidade de fósforo absorvida pelo vegetal, haveria, proporcionalmente, maior redução da concentração de fósforo em solução, no solo arenoso do que no argiloso. Cajuste & Kussow (1974) demonstraram que com o aumento do teor de argila em solos do Rio Grande do Sul, houve uma redução da eficiência do extrator de Mehlich 1, e que o tipo de argila também influenciou na eficiência do extrator.

Os coeficientes de correlação obtidos entre o P extraído e a produção de matéria seca ou P acumulado na parte aérea, assim como as demais características de crescimento avaliadas demonstraram claramente a sensibilidade dos métodos da resina e Mehlich 3 às variações dos solos, pelas correlações significativamente elevadas, obtidas por estes dois extratores (Tabela 8). Esses resultados concordam com os de Ibricki *et al.* (1992) e Muniz *et al.* (1996) os quais verificaram que quanto a sensibilidade para detectar variações na disponibilidade de fósforo, os extratores classificaram na seguinte ordem: resina > Mehlich 3 > Olsen > Bray 1 > Mehlich 1. Entretanto Piha (1993), comparando a resina e o extrator de Mehlich 3, em solos do Zimbábue, observou que as correlações de extração para os dois métodos com o crescimento da planta variou com a textura do solo. O autor mostrou que o extrator de Mehlich 3 por ser menos influenciado pela textura do solo, é portanto o mais indicado para predizer o estado do fósforo sobre uma larga variação de solos. Por outro lado, Brasil (1994) demonstrou que os extratores de Mehlich 3 e Bray 1 foram mais sensíveis às variações de solo do que a resina trocadora de íons. Lins & Cox (1989) trabalhando com sete solos sob cerrado do Brasil, com o teor de argila variando de 120 a 680 g.kg⁻¹, verificaram

que o extrator de Mehlich 3 foi superior ao Bray 1 e resina, na predição das necessidades de fósforo para a soja. Pela revisão de Raij (1978) o método de extração de P com a resina foi considerado o melhor por adaptar-se as diferentes condições de solo. No entanto, existem algumas restrições ao método, tais como: tempo de agitação e separação da resina principalmente nos solos mais argilosos, fatos confirmados por Miola *et al.* (1995). Apesar destes inconvenientes Raij *et al.* (1984 e 1986) argumentam que este método apresenta melhor correlação entre às respostas à adubação fosfatada com a extração pelas plantas.

4.3.4. Coeficientes de correlação entre as quantidades de P extraído e as respostas do feijoeiro, considerando o experimento no geral

Na Tabela 9 são apresentados os coeficientes de correlações entre a altura de plantas, o número de folhas trifolioladas, a matéria seca da parte aérea, o acúmulo de fósforo na parte aérea e os teores de fósforo extraído pelos métodos de Mehlich 1, Mehlich 3 e resina, independente de solos e fontes utilizados.

Com o extrator Mehlich 1, as correlações entre as produções de matéria seca da parte aérea e o acúmulo de fósforo na parte aérea com o fósforo extraído, não foram significativas, demonstrando-se inadequado para estimar o fósforo extraível, de amostras de solos LEa e LRa, que receberam fertilizantes fosfatados de diferentes solubilidades. Trabalhos recentes tem demonstrado a eficiência, e a obtenção de resultados similares na avaliação do P disponível pelos métodos da resina e Mehlich 1 quando da utilização de uma fonte de P solúvel (Corrêa & Haag, 1993; Holanda *et al.*, 1994).

TABELA 9. Coeficientes de correlação geral entre os teores de P no solo, extraídos pelos métodos de Mehlich 1, Mehlich 3 e Resina Trocadora de Íons, e altura de plantas (ALP), número de folhas trifolioladas (NFT), matéria seca da parte aérea (MSPA) e acúmulo de fósforo na parte aérea (ACPA) do feijoeiro. Dourados, MS. 1997.

Método	Coeficiente de Correlação (r)			
	ALP	NFT	MSPA	ACPA
Mehlich-1	0,420*	0,428*	0,340 ^{N.S.}	0,294 ^{N.S.}
Mehlich-3	0,656**	0,743**	0,742**	0,802**
Resina	0,851**	0,925**	0,891**	0,915**

** Significância ao nível de 1% de probabilidade.

* Significância ao nível de 5% de probabilidade.

^{N.S.} Não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Os coeficientes de correlação obtidos para os métodos da resina $r=0,915^{**}$ e Mehlich 3 $r=0,802^{**}$, foram superiores ao Mehlich 1, para o fósforo acumulado na parte aérea. Estes resultados demonstraram a superioridade do método da resina, sobre os demais, independente das fontes de fósforo ou tipos de solos, confirmando as revisões de Raij (1978), Fixen & Grove (1990) e Silva (1991). Os coeficientes de correlação encontrados neste experimento para os extratores de Mehlich 1 e resina (Tabela 9) estão dentro do intervalo encontrado por Fixen & Grove (1990), cuja amplitude de variação foi de 0,25 a 0,91 e de 0,69 a 0,98 respectivamente. No estado de São Paulo a resina de troca iônica é usada extensivamente para análise de solo, não somente para P, mas também para Ca, Mg e K, com a utilização simultânea de resinas aniônicas e catiônicas na mesma extração (Raij *et al.*, 1986). Raij (1994) cita que para o P a extração com a resina de troca iônica, provavelmente é o melhor método para avaliação, e só não é usado rotineiramente, devido a preferência por métodos mais simples. O autor salienta que o método da Resina de Troca Iônica é uma das alternativas mais promissoras como “extrator universal”, se problemas de procedimentos analíticos forem resolvidos.

Apesar da pequena diferença apresentada pelos coeficientes de correlação do extrator de Mehlich 3 com as características avaliadas em relação a resina, todos eles foram significativos ao nível de 1% de probabilidade e, superiores ao Mehlich 1 (Tabela 9). Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Ibricki *et al* (1992) e Muniz *et al* (1996), que demonstraram a superioridade da resina, e discordam dos de Lins & Cox (1989), Piha (1993) e Brasil (1994), onde a resina mostrou-se inferior ao Mehlich 3. O método de extração de P Mehlich 3, apesar de ter sido introduzido recentemente, tem chamado a atenção de muitos pesquisadores, visando a determinação dos teores de fósforo que se encontram à disposição das plantas, assim como outros nutrientes. Evans & Mcguire (1990) demonstraram que o extrator Mehlich 3, juntamente com o Mehlich 1, apresentou melhor correlação, não somente para P, mas também para Ca, Mg e K. Resultados para utilização do Mehlich 3, como extrator universal no Brasil, foram constatados por Vasconcellos *et. al.* (1996) em solos de Minas Gerais, onde os extratores de Mehlich 1 e Mehlich 3 atuaram de modo semelhante tanto para P como K, quanto menores forem os teores de óxido de ferro, enquanto que para os micronutrientes (Zn, Cu, Fe e Mn) atuaram em forma diferentes dos elementos, sugerindo a melhor possibilidade do Mehlich 3 adequar-se às estimativas da suficiência nutricional.

4.3.5. Coeficientes de correlação entre os teores de P extraído pelos métodos Mehlich 1, Mehlich 3 e Resina trocadora de íons, em cada solo e geral

Os coeficientes de correlação verificados entre o Mehlich 3 e a resina foram altos e significativos a 1% de probabilidade no geral e no LEa, e a 5% no LRa (Tabela 10). Esses valores obtidos permitem supor que estes métodos extraíam formas semelhantes e em quantidades proporcionais, de P solúvel, dos solos utilizados, apesar da diferença de capacidade extratora apresentadas pelos

dois métodos, nas condições deste trabalho. Segundo Bahia Filho *et al.* (1983) as correlações entre os teores de fósforo disponível obtidas por diferentes extratores têm sido atribuídas à extração preferencial de determinada forma de fósforo, associada à maior atividade da forma preferencialmente extraída. Essa explicação parece justificar em parte as diferenças entre os extratores, e estão de acordo com Piha (1993) em que o extrator de Mehlich 3 foi altamente correlacionado em solos com P ligado ao alumínio, mesmo em solos derivados de material rico em Fe, e Barbosa Filho *et al.* (1987) que verificaram que no método da resina, a forma preferencialmente extraída foi o P-Al, em solos sob cerrado (LVd e LEd). Outra justificativa, seriam as explicações de Holford (1980), o qual considera que quanto mais similares forem dois extratores na sua sensibilidade ao tamponamento maior será a correlação entre ambos.

Correlações significativas foram também obtidas entre os métodos de Mehlich 1 e resina trocadora de íons, embora com valores menores aos obtidos para a correlação entre este último e o Mehlich 3 (Tabela 10). A explicação seria dada, pela formas predominante extraídas pelo extrator de Mehlich 1 quando se considera os fosfatos naturais, face a sua elevada capacidade de dissolução de apatitas que não reagiram com o solo. De acordo com Hislop & Cooke (1966), citados por Barbosa Filho *et al.* (1987), o método da resina reflete melhor os fatores capacidade e intensidade de P no solo, enquanto que o Mehlich 1 representa melhor o fator quantidade (Bahia Filho & Braga, 1975).

TABELA 10. Coeficientes de correlação entre os teores de P extraído pelos diferentes métodos nos dois solos. Dourados, MS. 1997.

Coeficiente de correlação (r)		
Mehlich - 1 x Mehlich - 3	Mehlich - 1 x Resina	Mehlich - 3 x Resina
Latossolo Vermelho-Escuro álico		
0,619*	0,555*	0,967**
Latossolo Roxo álico		
0,568*	0,569*	0,965*
Geral		
0,606*	0,537**	0,845**

**Significância ao nível de 1% de probabilidade.

* Significância ao nível de 5% de probabilidade.

Os valores dos coeficientes de correlação verificados entre os extratores de Mehlich 1 x Mehlich 3 foram semelhantes aos obtidos para o Mehlich 1 x Resina, apesar de que os extratores de Mehlich apresentaram comportamento diferentes nas formas predominantemente extraídas. O fator capacidade ou poder tampão também influenciou, assim como os teores de óxidos de ferro e alumínio, pois foi observado um maior coeficiente de correlação para o LEa. Esses resultados concordam com os de Vasconcellos *et al.* (1996) que demonstraram que os extratores de Mehlich 1 e Mehlich 3 atuam de modo semelhante para extração de P, quanto menor forem os teores de óxido de ferro.

5. CONCLUSÕES

Nas condições em que foi desenvolvida a pesquisa, os resultados obtidos permitem concluir que:

- o superfosfato triplo foi a fonte mais eficaz na produção de matéria seca e fósforo acumulado na parte aérea do feijoeiro, e o fosfato de Araxá foi a fonte menos eficiente nos dois solos.

- O solo influenciou na solubilização de fosfatos. No solo LRa houve maior ação solubilizadora dos fosfatos Araxá e Gafsa.

- O método Mehlich 1 mostrou-se inadequado em estimar o fósforo disponível para as plantas, nos tratamentos com fosfatos de Araxá e Gafsa, e os métodos da resina e Mehlich 3 foram mais sensíveis as variações de solos.

- O método da resina independentemente da fonte de fósforo utilizada, apresentou as melhores correlações com as características das plantas avaliadas, mostrando-se mais adequado em estimar o P disponível em diferentes condições de solos e fontes de fósforo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCARDE, J.C. & PONCHIO, C.O. Caracterização das solubilidades das rochas fosfatadas brasileiras e termofosfatos em diferentes extratores químicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.4, p.196-200, 1980.
- AMER, F.; BOULDIN, D.R.; BLACK, C.A.; DUKE, F.R. Characterization of soil phosphorus by anion exchange resin adsorption and ^{32}P equilibration. **Plant and Soil**, Hague, v.6, p.391-408, 1955.
- BAHIA FILHO, A.F.C & BRAGA, J. M. Fósforo em latossolos do Estado de Minas Gerais, II. Quantidade de fósforo “disponível”. **Revista Ceres**, Viçosa, v.22(119), p.50-61, 1975.
- BAHIA FILHO, A.F.C.; BRAGA, J.M.; RIBEIRO, A.C.; NOVAIS, R.F. Sensibilidade de extratores químicos à capacidade tampão de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, p.243-9, 1983.
- BARBER, S.A. **Soil nutrient biavailability: a mechanistic approach**. New York: J. Wiley, 1984. 398p.
- BARBOSA FILHO, M.P.; KINJO, T.; MURAOKA, T. Relações entre fósforo “extraível”, frações inorgânicas de fósforo e crescimento do arroz em função de fontes de fósforo, calagem e tempo de incubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.11, p.147-55, 1987.
- BARNES, J.S. & KAMPRATH, E.J. **Availability of North Carolina rock phosphate applied to soils**. North Carolina, Agri. Exp. Station, 1975. 22p. (Technique Bulletin, 229).

- BECKET, P.H.T & WHITE, E.E. Studies on the phosphorus potentials of soils. Part. II: The pool of labile inorganic phosphate. **Plant and soil**, Hague, v.21, p.253-82, 1964.
- BOUYOUCOS, G.J. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. **Agronomy Journal**, Madison, v.54(5), p.464-5, 1962.
- BRAGA, J.M & DEFELIPO, B.V. Relações entre formas de fósforo inorgânico, fósforo disponível e material vegetal em solos sob vegetação de cerrado: I. Trabalho de laboratório. **Revista Ceres**, Viçosa, v.19(102), p.124-36, 1972.
- BRAGA, N.R; MASCARENHAS, H.A.A.; BULISANI, E.A.; RAIJ, B.van; FEITOSA, C.T.; HIROCE, R. Eficiência agronômica de nove fosfatos em quatro cultivos consecutivos de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, p.315-9, 1991.
- BRAGA, N.R; MASCARENHAS, H.A.A.; FEITOSA, C.T.; RAIJ, B.van. Efeitos de fosfatos sobre crescimento e produção de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.4, p.36-9, 1980.
- BRASIL, E.D. **Disponibilidade de fósforo em solos da Amazônia tratados com fertilizantes fosfatados**. Piracicaba: ESALQ, 1994. 160p. (Tese de Mestrado).
- CABALA, R.P. **A disponibilidade de fósforo e o uso de extratores químicos no Brasil**. Ilhéus, CPLAC, 1972. 27p.
- CABALA, R.P. & SANTANA, M.B.M. Disponibilidade e diagnose de fósforo pela análise química do solo com referência ao Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7(2), p.109-18, 1983.
- CABALA, R.P. & WILD, A. Direct use of low grade phosphate rock Brasil as fertilizer. Effect of reaction time in soil. **Plant and soil**, Hague, v.65(2), p.351-62, 1982.
- CAJUSTE, L.J. & KUSSOW, W.R. Use and limitations on the North Caroline method to predict available phosphorus in some oxisols. **Tropical Agriculture**, Trinidad, v.51(1), p.246-52, 1974.
- CANTARUTTI, R.B.; BRAGA, J.M.; NOVAIS, R.F.; THIEBAUT, J.T.L. Época de aplicação de fosfatos naturais, em relação à calagem, num solo com elevado teor de alumínio trocável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.5, p.133-7, 1981.
- CARVALHO, A.M.; 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, p.61-7, 1995.
- CHANG, S.C. & JACKSON, M.L. Fractionation of soil phosphorus. **Soil Science**, Baltimore, v.84(1), p.133-44, 1957.

- CORDEIRO, D.S.; PÖTTKER, D; BORKERT, C.M.; SFREDO, G.J.; MESQUITA, A.N.; DITTRICH, R.C.; PALHANO, J.B. Efeito de níveis e fontes de fósforo na produção e no rendimento econômico da soja na região de Dourados (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.3(2), p.100-5, 1979.
- CORRÊA, L. de A. & HAAG, H.P. Disponibilidade de fósforo pelos extratores de Mehlich 1 e resina em Latossolo Vermelho Amarelo álico, cultivado com três gramíneas forrageiras. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.50(2), p.287-94, 1993.
- DOLL, E.C.; MILLER, H.F.; FREEMAN, J.F. Initial and residual effects of rock phosphate and superphosphate. **Agronomy Journal**, Madison, v.52, p.246-50, 1960.
- DYNIA, J.F. **Efeito do pH e da capacidade de retenção de fósforo dos solos na eficiência de adubos fosfatados**. Porto Alegre: UFRS, 1977. 61p. (Tese de Mestrado).
- EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (Planaltina, DF). **Relatório técnico anual**. Planaltina: 1976. 150p.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA. 1979. n.p.
- EVANS, C.E. & McGUIRE, J.A. Comparison of soil test extractants on Alabama soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.21(13-16), p.1037-50, 1990.
- FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: ESAL - Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão, 1994. 227p.
- FASSBENDER, H.W. **Química del suelos: con énfases en suelos de América Latina**. San José: IICA, 1984. 422p.
- FERREIRA, T.N. & KAMINSKI, J. Eficiência agronômica dos fosfatos naturais de Patos de Minas e Gafsa, puros e modificados por acidulação e calcinação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.3, p.158-62, 1979.
- FITTS, J.W. & NELSON, W.L. The determination of lime and fertilizer requirements of soils through chemical tests. **Advances in Agronomy**, New York, v.8, p.241-82, 1956.
- FIXEN, P.E. & GROVE, J.H. Testing for phosphorus. In: WESTERMAN, R.L. **Soil testing and plant analysis**. 3.ed. Madison: SSSA, 1990. cap.7, p.141-80. (SSSA Book Series, 3).

- FREIRE, F.M.; NOVAIS, R.F.; BRAGA, J.M.; FRANÇA, G.E.; SANTOS, H.J.; SANTOS, R.R.R.S. Adubação fosfatada para a cultura da soja (*Glycine max* (L) Merrill) baseada no fósforo disponível e no fator "capacidade". **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.3(2), p.105-11, 1979.
- GASCHO, G.J.; GAINES, T.P.; PLANK, C.O. Comparison of extractants for testing coastal plain soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.17(13-17), p.1051-77, 1990.
- GOEDERT, W.J. & LOBATO, E. Avaliação agronômica de fosfatos em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.8, p.97-102, 1984.
- GOEDERT, W.J. & LOBATO, E. Eficiência agronômica de fosfatos em solos do cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.15(3), p.311-8, 1980.
- GOEDERT, W.J. & SOUSA, D.M.G. de. Avaliação preliminar de fosfatos com acidulação parcial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, p.75-80, 1986.
- GOEDERT, W.J. & SOUSA, D.M.S. de.; LOBATO, E. Fósforo. In: GOEDERT, W.J. **Solos de cerrado: tecnologias e estratégias de manejo**. São Paulo: Nobel, 1987. p.129-66.
- GOEDERT, W.J.; SOUSA, D.M.G. de.; REIN, T.A. **Princípios metodológicos para avaliação agronômica de fontes de fósforo**. Planaltina: EMBRAPA/CPAC, 1986. 23p. (EMBRAPA/CPAC. Documentos, 22).
- GUNARY, D. & SUTTON, G.D. Soils factors affecting plant uptake of phosphate. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.18(1), p.167-73, 1967.
- HAMMOND, L.L.; S.H.; CHIEN; S.H.; MOKNUNYE, A.U. Agronomic value of unacidulated and partially acidulated phosphate rocks indigenous to the tropics. **Advances in Agronomy**, New York, v.40, p.89-140, 1986.
- HANLON, E.A & JOHNSON; G.V. Bray/Kurtz, AB/D and ammonium acetate extractions of P, K and Mg in four Oklahoma soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.15, p.277-294, 1984.
- HOLANDA, J.S.; BRASIL, E.C.; SALVIANO, A.A.C.; CARVALHO, M.C.S.; RODRIGUES, M.R.L.; MALAVOLTA, E. Eficiência de extratores de fósforo num solo adubado com fosfatos e cultivado com arroz. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 21. Petrolina, 1994. **Anais...** Petrolina, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1994. p.46-8.
- HOLFORD, I.C.R & MATTINGLY, G.E.G. Phosphate adsorption and plant availability of phosphate. **Plant and soil**, Hague, v.44, p.377-89, 1976.

- HOLFORD, I.C.R. Effects of phosphate buffer capacity on critical levels and relationships between soil tests and labile phosphate in wheat-growing soils. **Australian Journal of Research**, East Melbourne, v.18, p.405-14, 1980.
- IBRIKCI, H., HANLON, E.A., RECHCIGL, J.E. Initial calibration and correlation of inorganic phosphorus soil test methods with bahiagrass field trial. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.23, p.2569-79, 1992.
- KAMPRATH, E.J. & WATSON, M.E. Conventional soil and tissue tests for assessing the phosphorus status of soils. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLES, E.C.; KAMPRATH, E.J. **The role of phosphorus in agriculture**. Madison, American Society of Agronomy, 1980. p.433-69.
- KHASAWNEH, F.E. & DOLL, E.C. The use of phosphate rocks for direct application to soils. **Advances in Agronomy**, New York, v.30, p.159-206, 1978.
- LARSEN, S. Soil phosphorus. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.19, p.151-210, 1967.
- LARSEN, S. The use of ^{32}P in studies on the uptake of phosphorus by plants. **Plant Soil**, Hague, v.4(1), p.1-10, 1952.
- LEHR, J.R. & McLELLAN, G.H. **A revised laboratory reactivity scale for evaluating phosphate rock direct application**. Muscle Shoals, Tennessee Valley Authority, 1972. 36p. (Bulletin, Y-43).
- LINS, I.D.G. & COX, F.R. Effect of extractant and selected soil properties on predicting the correct phosphorus fertilization of soybean. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.53, p.813-6, 1989.
- LOPES, A.S. **Solos sob "cerrado": características, propriedades e manejo**, 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1984. 162p.
- LOPES, A.S.; VASCONCELLOS, C.A.; NOVAIS, R.F. Adubação fosfatada em algumas culturas de Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro. In: OLIVEIRA, A.J. de; LOURENÇO, S.; GOEDERT, W.J. **Adubação fosfatada no Brasil**. Brasília, EMBRAPA-DID, 1982. p.137-200. (EMBRAPA-DID, Documentos, 21).
- MAGALHÃES, J.C.A.J. de. **Aproveitamento do fosfato Patos de Minas pelo trigo (*Triticum aestivum* L.) cv. IAC-5, cultivado em dois solos sob vegetação de cerrado no DF, com dois níveis de calagem**. Piracicaba: ESALQ, 1984. 202p. (Tese de Doutorado).
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres LTDA, 1980. 251p.

- MALAVOLTA, E. & VITTI, C.G.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1989. 201p.
- MEHLICH, A. New extractant for soil test evaluation of phosphorus, potassium, magnesium, calcium, sodium, manganese and zinc. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.9(6), p.477-92, 1978.
- MEHLICH, A. Mehlich 3 soil test extractant: a modification of Mehlich 2 extractant. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.15(12), p.1409-16, 1984.
- MICHAELSON, G.J. & PING, C.L. Extraction of phosphorus from the major agricultural soils of alaska. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.17(3), p.275-97, 1986.
- MIOLA, G.R.; TEDESCO, M.J.; BISSANI, C.A.; GIANELLO, C. Avaliação da disponibilidade de fósforo no solo para as plantas através de membrana trocadora de íons. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25. Viçosa, 1995. **Anais...** Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. p.975-77.
- MUNIZ, A.S.; NOVAIS, R.F.; FREIRE, F. M.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F. Disponibilidade de fósforo e recomendação de adubação avaliadas por meio de extratores químicos e do crescimento de soja em amostras de solos com diferentes valores do fator capacidade. **Revista Ceres**, Viçosa, v.34(192), p.125-51, 1987.
- MUNIZ, A.S.; RAIJ, B.van; KIEHL, J.C.de; PROCHNOW, L.I. Efeito na extração de fósforo em latossolo roxo por extratores químicos. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13. Águas de Lindóia, 1996. Solo Suelo. (Publicado em CD) **Anais...** Águas de Lindóia, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p.
- NELSON, W.L.; MEHLICH, A.; WINTERS, E. The development, evaluation and use of soil test for phosphorus availability. In: Pierre, W.R.; Norman, A.G. **Soil fertilizer phosphorus**. New York, Academic Press, 1953. p.153-88. (Agronomy, 14).
- NOVAIS, R.F.; BRAGA, J.M.; MARTINS FILHO, C.A.S. Efeito do tempo de incubação do fosfato de Araxá em solos, sobre o fósforo disponível. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.4, p.153-5, 1980.
- NOVAIS, R.F. & KAMPRATH, E.J. Fósforo recuperado em três extratores químicos como função do fósforo aplicado no solo e do "fator capacidade". **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.3, p.41-6, 1979.
- NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F. **Curso de fertilidade e manejo do solo, módulo 07 - Fósforo**. Brasília: ABEAS [1993]. 133p.

- NOVELINO, J.O.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; COSTA, L.M.; BARROS, N.F. Solubilização de fosfato-de-Araxá, em diferentes tempos de incubação, com amostras de cinco latossolos, na presença e na ausência de calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.9, p.13-22, 1985.
- OLIVEIRA, H.F. de; MUZILLI, O.; IGUE, K.; TORNERO, M.T.T. Avaliação da eficiência de fosfatos naturais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.8, p.63-7, 1984.
- OLSEN, S.R.; COLO, C.Y.; WATANABE, F.S.; DEAN, L.A. **Estimation of available phosphorus in soils by sodium bicarbonate**. Washington, USDA, USGPO. 1954. (USDA circulation, 939).
- PIHA, M.I. Evaluation of Mehlich 3 extractant for estimating phosphorus deficiency and phosphorus sorption of Zimbabwean soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.24(11-12), p.1397-408, 1993.
- RAIJ, B. van. Algumas reflexões sobre análise de solo para recomendação de adubação. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20. Campinas, 1992. **Anais...** Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p.71-87.
- RAIJ, B.van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres/POTAFOS, 1991. 343p.
- RAIJ, B.van. New diagnostic techniques, universal soil extractants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.25(7&8), p.799-816, 1994.
- RAIJ, B.van. Seleção de métodos de laboratórios para avaliar a disponibilidade de fósforo em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.2(1), p.1-9, 1978.
- RAIJ, B.van; CABALA,R.P.; 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/DID, 1982, p.1-19.
- RAIJ, B.van & DIEST, A.van. Phosphate supplying power of rock phosphate in an oxisol. **Plant and Soil**, Hague, v.55, p.97-104, 1980.
- RAIJ, B. van; FEITOSA, C. T.; SILVA, N. M. da. Comparação de quatro extratores de fósforo de solos. **Bragantia**, Campinas, v.43(1), p.17-29, 1984.
- RAIJ, B. van & QUAGGIO, J. A. Extractable phosphorus availability indexes as affected by liming. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.21(13-61), p.267-76, 1990.
- RAIJ, B.van; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M. E.; LOPES, A. S.; BATAGLIA, O. C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170p.

- RAIJ, B.van; QUAGGIO, J. A.; SILVA, N. M. da. Extraction of phosphorus, potassium, calcium, and magnesium from soils by an ion-exchange resin procedure. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.17(5), p.547-66, 1986.
- SAMPLE, E.C.; SOPER, R.J.; RACZ, G.J. Reactions of phosphate fertilizer in soils. In: KHASAWNEH, F.C.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. ed., **The role of phosphorus in agriculture**. Madison, ASA, 1980. cap.11, p.263-310.
- SCHOFIELD, R.K. Can a precise meaning be given to "available soil phosphorus. **Soil and Fertilizers**, Wallingford, v.18, p.373-5, 1955.
- SFREDO, G.J; BORKERT, C.M.; CORDEIRO, D.S.; PALHANO, J.B.; DITTRICH, R.C. Comparação de cinco extratores de fósforo do solo, considerando-se o tempo de incorporação de três adubos fosfatados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.3(2), p.111-5, 1979.
- SILVA, F.C. da. **Avaliação da disponibilidade de fósforo cultivados com cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ, 1991. 164p. (Tese de Mestrado).
- SMITH, A.N. The uptake of phosphorus by wheat and clover from four inorganic soil phosphate fractions after the addition of contrasting types of phosphatic fertilizer. **Plant and Soil**, The Hague, v.29(1), p.144-55, 1968.
- SMITH, T.J. & SANCHEZ, P.A. Phosphate rock dissolution and availability in cerrado soils as affected by phosphorus sorption capacity. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.46(2), p.339-45, 1982.
- SMITH, F.W.; ELLIS, B.G.; GRAVA, J. Use of acid-fluoride solution for the extraction of available phosphorus in calcareous soils and soils which rock phosphate has been added. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.21, p.400-4, 1957.
- THOMAS, G.W. & PEASLEE, D.E. Testing soils for phosphorus. In: WALSH L.W.; BEATON, J.D., ed. **Soil testing and plant analysis**. Madison, SSSA, 1973. p.115-32.
- VASCONCELLOS, C.A.; BAHIA FILHO, A.F.C.; COELHO, A.M.; FREIRE, F.M.; PITTA, G.V.E. Extrator universal e a fertilidade de solo de Minas Gerais: um enfoque preliminar. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 21. Londrina, 1996. **Anais...** Londrina.

- VASCONCELLOS, C.A.; SANTOS, H.L. de; FRANÇA, G.E. de; PITTA, G.V.E.; BAHIA FILHO, A.F.C. Eficiência agronômica de fosfatos naturais para a cultura do sorgo granífero. I- Fósforo total e solúvel em ácido cítrico e granulometria. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, p.117-26, 1986.
- WILD, A. Soluble phosphate in soil and uptake by plants. **Nature**, New York, v.203, p.326-7, 1964.
- WOLF, A.M.; BAKER, D.E. Comparisons of soil test phosphorus by Olsen, Bray 1, Mehlich 1 e Mehlich 3 methods. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.16(5), p.467-84, 1985.