

**FRACIONAMENTO DE FÓSFORO EM
LATOSSOLOS COM DIFERENTES USOS,
FÓSFORO ADICIONAL, MICORRIZA E
CULTIVO COM SOJA E BRAQUIÁRIA EM
CASA DE VEGETAÇÃO**

MEIRE ADÉLIA DA SILVA

2002

MEIRE ADÉLIA DA SILVA

**FRACIONAMENTO DE FÓSFORO EM LATOSSOLOS
COM DIFERENTES USOS, FÓSFORO ADICIONAL,
MICORRIZA E CULTIVO COM SOJA E BRAQUIÁRIA
EM CASA DE VEGETAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de "Mestre".

Orientadores
Prof. Nilton Curi
Prof. José Oswaldo Siqueira

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2002

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

Silva, Meire Adélia da

Fracionamento de fósforo em Latossolos com diferentes usos, fósforo adicional, micorriza e cultivo com soja e braquiária em casa de vegetação / Meire Adélia da Silva. -- Lavras : UFLA, 2002.

56 p. : il.

Orientador: Nilton Curi.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Fracionamento. 2. Fósforo. 3. Hedley. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-631.85

MEIRE ADÉLIA DA SILVA

**FRACIONAMENTO DE FÓSFORO EM LATOSSOLOS COM
DIFERENTES USOS, FÓSFORO ADICIONAL, MICORRIZA E
CULTIVO COM SOJA E BRAQUIÁRIA EM CASA DE
VEGETAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de "Mestre".

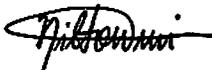
APROVADA em 10 de junho de 2002

Prof. João José Marques

UFLA

Dr. Paulo Emilio Ferreira da Motta

EMBRAPA Solos



Prof. Nilton Curi
UFLA
(Orientador)



Prof. José Oswaldo Siqueira
UELA
(Orientador)

LAVRAS

MINAS GERAIS – BRASIL

À Deus, por ter me dado força nessa caminhada

dedico

**Aos meus pais e irmãos
e ao meu namorado Ewerton**

ofereço

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciência do Solo pela oportunidade concedida para realização do curso.

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

Ao prof. Nilton Curi, pela orientação, pelo incentivo, compreensão e amizade.

Ao prof. José Oswaldo Siqueira, pelas sugestões indispensáveis para realização deste trabalho.

Ao prof. João José Marques, pela boa vontade e valiosas sugestões.

Ao pesquisador Paulo Emilio Ferreira da Motta, pela pronta disposição em participar da banca examinadora, pelas valiosas sugestões e contribuições para a elaboração final desta dissertação.

Aos bolsistas Alexandre Romeiro Araújo e Daniela Costa Santos, pela amizade e dedicação no apoio das análises de laboratório.

Aos colegas Júlio Nóbrega, pela revisão da dissertação, e Rodrigo de Souza Martins, pelo auxílio na digitação do texto.

À amiga Isabel, pelos incentivos, consideração e ajuda nos momentos difíceis.

À Alessandra e Ester, pelo apoio e amizade.

Ao meu namorado Ewerton, pelo incentivo, compreensão e carinho.

Aos colegas de curso pela amizade, colaboração e agradável convívio.

Aos funcionários do Departamento de Ciência do Solo, e a todos que, de alguma maneira, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO.....	01
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	02
2.1 Dinâmica do fósforo no solo.....	02
2.2 Formas de fósforo no solo.....	03
2.3 Aquisição de fósforo pelas plantas.....	06
2.4 Avaliação da disponibilidade de fósforo.....	08
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.1 Solos.....	12
3.2 Caracterização.....	12
3.3 Experimentos com plantas em casa de vegetação.....	14
3.4 Fracionamento de fósforo das amostras.....	16
3.5 Análises estatísticas.....	17
4 RESULTADO E DISCUSSÃO.....	17
4.1 Método Chang & Jackson (1957).....	17
4.1.1 Solo cultivado com braquiária.....	17
4.1.2 Solo cultivado com soja.....	21
4.2 Método de Hedley et al. (1982).....	26
4.2.1 Solo cultivado com braquiária.....	26
4.2.2 Solo cultivado com soja.....	34
4.3 Considerações Gerais.....	44
5 CONCLUSÕES.....	48
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48

RESUMO

SILVA, Meire Adélia da. Fracionamento de fósforo em Latossolos com diferentes usos, fósforo adicional, micorriza e cultivo com soja e braquiária em casa de vegetação. Lavras: UFLA, 2002. 56 p. (Dissertação – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)*

Foi realizado o fracionamento de P em três Latossolos (Latossolo Amarelo coeso, Latossolo Vermelho ácido e Latossolo Vermelho distroférrico), nunca cultivados e previamente cultivados por longos períodos, e após a adição de P, inoculação com fungo micorrízico e plantio em casa de vegetação com soja e braquiária, com o objetivo de verificar se os tratamentos estudados influenciaram as frações de P nos solos. O experimento foi conduzido em casa de vegetação com soja e braquiária, cultivadas por dois períodos consecutivos, de 10 semanas, adotando-se um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial $2 \times 2 \times 2$, com três repetições, sendo os tratamentos constituídos pelo histórico de uso (cultivado e não cultivado), aplicação de duas doses de P (P1 e P2), onde foram usadas concentrações de P nos níveis de 5 e 50% da dose indicada para a produção máxima, e inoculação com fungo micorrízico (inoculado e não inoculado). Pelo método de Chang & Jackson (1957), foram determinadas as frações de P ligado a Al (P-Al), P ligado a Fe (P-Fe) e P ligado a Ca (P-Ca). Pelo método de Hedley et al. (1982), as frações de P foram separadas com resina, NaHCO_3 , NaOH, HCl e digestão com H_2SO_4 e H_2O_2 , sendo que as frações orgânicas (Po) e inorgânicas (Pi) foram separadas por autoclavagem. Os resultados mostraram que no Latossolo Amarelo coeso e Latossolo Vermelho ácido, os teores de P-Al, P-Fe e P-Ca foram maiores nos solos cultivados, sendo observado comportamento inverso para as frações P-Al e P-Fe no Latossolo Vermelho distroférrico, tendências estas não alteradas pelo cultivo com soja e braquiária em casa de vegetação. Com a adição de P foram elevadas principalmente as frações inorgânicas lábeis (Pi-resina e Pi- NaHCO_3) e a fração Pi-NaOH, sendo as maiores proporções do P adicionado encontradas na fração moderadamente lábil (Pi-NaOH). As frações de P nos solos foram pouco influenciadas pela micorriza que também exerceu efeito menos consistente que o cultivo e a aplicação de P sobre estas. Os solos cultivados apresentaram menores teores de P nas frações orgânicas que os não cultivados. Nos solos cultivados com braquiária, verificou-se menores teores de P nas frações pouco lábeis e maiores nas frações mais lábeis.

* Comitê orientador: Nilton Curi – UFLA e José Oswaldo Siqueira – UFLA (Orientadores)

ABSTRACT

SILVA, Meire Adélia da. Phosphorus fractionation in Latosols (Oxisols) with different uses, additional phosphorus, mycorrhizae, and cultivation with soybeans and brachiaria in greenhouse. Lavras: UFLA, 2002. 56 p. (Dissertation – M.Sc. in Soil Science and Plant Nutrition)*

It was performed the P fractionation in three Latosols (LAX-cohesive Yellow Latosol, LVw-acric Red Latosol, and LVdf-dystroferric Red Latosol), never cultivated and previously cultivated during long periods, and after the addition of P, inoculation with mycorrhizal fungus, and plantation in greenhouse with soybeans and brachiaria, with the objective of verifying if the studied treatments influenced the P fractions in the soils. The experiment was conducted in greenhouse with soybeans and brachiaria, cultivated during two consecutive periods of ten weeks, adopting a completely randomized design, in a 2x2x2 factorial scheme, with three replications, being the treatments constituted by the historical of use (cultivated and non-cultivated), application of two P doses (P1 and P2), where were used P concentrations at 5 and 50% levels of the dose indicated for the maximum production, and inoculation with mycorrhizal fungus (inoculated and non-inoculated). By the method of Chang & Jackson (1957), it were determined the P fractions linked to Al(P-Al), Fe (P-Fe), and Ca(P-Ca). By the method of Hedley et al. (1982), the P fractions were separated with resin, NaHCO₃, NaOH, HCl, and digestion with H₂SO₄ and H₂O₂, being the organic (Po) and inorganic (Pi) fractions separated by autoclaving. The results showed that in the LAX and LVw soils, the amounts of P-Al, P-Fe, and P-Ca were higher in the cultivated soils, being observed inverse behaviour for the P-Al and P-Fe fractions in the LVdf soil, trends non-altered by the cultivation with soybeans and brachiaria in greenhouse. With the P addition, it were elevated mainly the labile inorganic fractions (Pi-resin and Pi-NaHCO₃) and the Pi-NaOH fraction, being the higher proportions of the added P registered in the moderately labile fraction (Pi-NaOH). The P fractions in the soils were little influenced by mycorrhizae which also had less consistent effect than the cultivation and the P application on these fractions. The cultivated soils presented smaller amounts of P in the organic fractions than the non-cultivated ones. In the soils cultivated with brachiaria, it was verified smaller amounts of P in the less labile fractions and higher amounts in the more labile fractions.

* Advisers: Nilton Curi and José Oswaldo Siqueira

1 INTRODUÇÃO

A carência de P em solos tropicais, devido à sua alta capacidade de fixação, faz com que o P seja aplicado em doses superiores às necessidades das culturas para compensar a parte do P aplicado que é imobilizada através das fortes interações que este elemento apresenta com os constituintes do solo.

A avaliação do P disponível em solos é um assunto que tem merecido muita atenção e estudos em diferentes condições de solo e cultura têm demonstrado a complexidade do comportamento deste elemento nos solos, onde ocorre em diferentes formas químicas. Geralmente, a disponibilidade de P para as plantas é avaliada através de extração química. Conhecer a participação relativa das diferentes formas de P é da maior importância e pode ser avaliada através de soluções capazes de remover certas formas. Para a separação das principais formas de P no solo tem sido empregada a extração seletiva seqüencial por várias soluções extratoras, conhecida como fracionamento de P. Entre os métodos de fracionamento, o mais antigo e conhecido é o de Chang & Jackson (1957) que baseia-se na solubilidade seletiva das soluções de NH_4F 0,5 mol L^{-1} , NaOH 0,1 mol L^{-1} e H_2SO_4 0,25 mol L^{-1} . Outro método que tem sido bastante empregado atualmente é o fracionamento seqüenciado de Hedley et al. (1982) que separa as frações lábeis, pouco lábeis e não lábeis de P. Estabelecer as relações entre as frações determinadas por extrações seqüenciais e o comportamento de P no solo é essencial para definir o manejo deste nutriente nos solos agrícolas tropicais.

Conhecer e avaliar as formas de P no solo é de grande interesse pelo fato de geralmente o P estar pouco disponível, apresentar baixa mobilidade e estar em baixas concentrações no solo. Então, qualquer tipo de manejo que aumente a absorção e a utilização desse nutriente pelas plantas torna-se importante para a agricultura tropical. Para isto estratégias de manejo têm sido propostas, tais

como: minimização do poder de fixação de P pelo solo; determinação da melhor dose e do modo mais adequado de aplicação de adubos; e maximização das interações positivas existentes entre adubação fosfatada e outras práticas agrícolas. Uma das alternativas para maximização da utilização do P do solo é o emprego de micorrizas, que, devido à maior exploração do solo e à maior capacidade das hifas em absorver P em baixas concentrações, favorece o crescimento das plantas em condições sub-ótimas desse elemento, diminuindo a exigência externa de P pelas plantas.

Os objetivos deste trabalho foram avaliar o fracionamento de P em três Latossolos previamente cultivados e não cultivados, e após a adição de P, inoculação com fungo micorrízico e plantio em casa de vegetação com soja e braquiária.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Dinâmica de fósforo no solo

Vários autores têm estudado as mudanças das formas de P no solo, com os anos de cultivo. Geralmente, em sistemas não cultivados, a concentração de P total diminui e frações de P orgânico são as principais fontes de P para as plantas em comparação aos sistemas cultivados. Nestes, frações de P inorgânico lábil aumentam e transformam-se lentamente em formas menos disponíveis com o tempo (Lilienfein et al., 2000). Segundo Rheinheimer et al. (2000), o acúmulo ou a diminuição do P do solo depende do balanço entre as adições e as retiradas do sistema. A deficiência de P é a principal limitação para a produção das culturas em solos altamente intemperizados. Nesses solos com alta capacidade de adsorção de P a efetividade de fertilizantes fosfatados diminui com o tempo e

a importância do P orgânico como fonte de nutrientes tende a aumentar (Linquist et al., 1996).

De acordo com Fassbender (1984), os solos tropicais se apresentam associados a condições de baixo pH, grandes quantidades de óxidos de Fe e de Al e alta capacidade de retenção de P. Sob tais condições, os íons fosfato, que são liberados através da dissolução de fertilizantes fosfatados, tornam-se instáveis e não permanecem em sua forma original, ficando sujeitos às transformações de adsorção e, ou, precipitação. Os adubos fosfatados adicionados aos solos, além do efeito imediato sobre a cultura, podem ter um efeito residual nas subseqüentes culturas (Moreira, 1997). Esse P remanescente do fertilizante no solo é lentamente transformado para formas menos disponíveis, por meio de reações com a superfície das partículas do solo, pela cristalização de compostos insolúveis ou pela difusão para o interior dos óxidos tornando-se menos disponíveis. Na ausência de adições anuais de fertilizantes fosfatados, a produtividade dependerá da quantidade e disponibilidade desse P residual acumulado no solo (Barrow et al., 1980). O conhecimento prévio de informações que possibilitam determinar o efeito residual da fertilização fosfatada é de grande valia para os cálculos econômicos desta prática. No entanto, a quantificação desse efeito é complexa, visto que resulta da interação de vários fatores, como tipo de solo, fonte, dose e método de aplicação do fósforo, método de preparo do solo e seqüência de cultivo (Goedert & Sousa, 1986).

2.2 Formas de fósforo no solo

Segundo Larsen (1967), o P do solo encontra-se em três diferentes formas: P em solução; precipitado ou adsorvido às partículas do solo, mas em equilíbrio com o P em solução (P-lábil); ou, ainda, sob a forma de compostos de

baixa solubilidade, ou adsorvido às partículas do solo, não estando em equilíbrio imediato com o P em solução (P-não lábil). A maior parte do P inorgânico do solo encontra-se na forma não lábil, sendo representado por compostos insolúveis estáveis que podem transformar-se em formas lábeis muito lentamente.

A fração mais importante para a nutrição vegetal é o P em solução, que geralmente apresenta valores muito baixos e reflete o balanço entre os processos de fornecimento, imobilização e absorção de P pela planta. Os principais mecanismos de transformação do P no solo envolvem, além da retenção ou fixação, sua liberação ou solubilização da fração lábil, e mineralização e imobilização biológica pelos microrganismos (Siqueira & Franco, 1988). A retenção do P adicionado ao solo, em formas lábeis ou não, ocorre tanto pela precipitação do P em solução com Fe, Al e Ca, como, pela adsorção por óxidos de Fe e de Al. A fixação por óxidos de Fe e de Al é o principal processo que controla o fluxo de P nos Latossolos, e a intensidade deste processo é altamente correlacionada com o conteúdo de argila do solo (Sanchez & Smyth, 1991), sendo a mineralogia tão ou mais importante dependendo do universo estudado (Motta, 1999). A capacidade de retenção de P está relacionada à mineralogia e à efetividade da superfície de adsorção (Juo & Fox, 1977). Alguns minerais presentes nos solos têm a propriedade de adsorver P na sua superfície. Destes, os mais importantes são os óxidos de Fe e de Al e argilominerais (Lindsay e Moreno, 1960). Os óxidos de Fe e de Al têm muito maior capacidade de adsorver P que os argilominerais. Portanto, menor quantidade do P adicionado permanecerá na solução dos solos em que predominam os óxidos do que na solução dos solos em que predominam os argilominerais (Fox & Searle, 1978). A capacidade de fixação de P pelos solos pode ser influenciada pelo conteúdo de matéria orgânica, óxidos de Al e de Fe, argilominerais, pH, cátions presentes no sistema e pelo tipo de fertilizante empregado (Fassbender, 1984). Entre estes, o

pH exerce um efeito direto, correspondente à competição dos íons OH^- pelos sítios de adsorção, deslocando os íons fosfato da superfície dos minerais para a solução ou prevenindo a sua adsorção.

As propriedades do solo e as práticas de manejo com fertilizantes afetam a distribuição do P adsorvido e P precipitado (Afif et al., 1993). Em solos deficientes em P e com altos teores de argila e óxidos, a fixação de P é maior e, para atendimento das exigências das culturas, são exigidos níveis de adubação fosfatada mais elevados do que para solos arenosos. Entre solos de mineralogia similar, portanto, a fixação de P aumenta com o conteúdo de argila (Sanchez & Uehara, 1980). O P que é fortemente retido pelo solo é menos disponível para as plantas. Assim, reações de adsorção e dessorção de fósforo e capacidade de tamponamento dos solos podem ter papel importante nos aspectos agronômicos e ambientais do manejo do P no solo (Yaobing & Thompson, 2000).

Originalmente, ou mesmo após a adição de fontes solúveis de fertilizantes fosfatados, há nos solos altamente intemperizados predominância de P nas formas de P-Al, P-Fe e de P-Ca em menor quantidade. Na maioria dos solos ácidos, P-Fe constitui a forma de P menos solúvel e mais estável no solo. Segundo Chang & Jackson (1957), a contribuição do P-Ca à nutrição das plantas em condições de solos tropicais é pequena, uma vez que envolve formas químicas bastante estáveis.

O P pode estar ainda sob a forma de compostos orgânicos (P-orgânico), que por mineralização acrescenta fosfatos inorgânicos ao sistema (Muniz, 1995). A principal forma de P orgânico encontrada no solo é o fosfato de inositol, que é facilmente mineralizado. O P orgânico pode compreender de 3 a 90% do P total do solo e variar de 1 a 3% da matéria orgânica. Nos solos minerais, esta fração representa de 20 a 25% do P total, pois a maior parte do P encontra-se na forma inorgânica devido à elevada capacidade de fixação daqueles (Siqueira & Franco, 1988). Segundo Herrera et al. (1978), citado por Longo & Espíndola (2000), a

importância da matéria orgânica aumenta em ecossistemas tropicais, que geralmente apresentam solos pobres em nutrientes e onde a vegetação depende, em grande parte, da reciclagem de elementos nutritivos contidos nos detritos vegetais. Por um processo de mineralização, o P orgânico é transformado em P solúvel, pela ação das fosfatases, enzimas que catalizam a hidrólise de ésteres de fosfato, liberando fosfato solúvel. Estas enzimas são secretadas pelas raízes das plantas e pelos microrganismos (Nahas et al., 1994).

2.3 Aquisição de fósforo pelas plantas

A capacidade das plantas em aproveitar o P do solo restringe-se, em geral, ao que se encontra na solução do solo. Portanto, o desejável é manter continuamente uma concentração adequada de P na solução do solo, da qual as plantas absorvem o elemento. Para que a absorção se torne contínua, o P deve ser liberado da fase sólida e movimentar-se por difusão até a superfície das raízes. A difusão do P no solo é proporcional aos teores de P em solução, poder tampão ou fator capacidade (Beckett & White, 1964), P lábil, umidade e outros fatores do solo.

As características morfológicas e fisiológicas das raízes são fatores determinantes para a aquisição de P pelas plantas. Dentre as características morfológicas de importância para a absorção desse nutriente, destacam-se o número e a taxa de crescimento das raízes. A variabilidade da capacidade de absorção de P entre variedades pode ser causada por diferenças nas características morfológicas das raízes, importantes, principalmente, para nutrientes presentes em baixas concentrações na solução do solo e para os quais o acesso radicular aos elementos limita a absorção, como o P. As estratégias adotadas pelas plantas para aumentar a eficiência de aquisição de P diferem entre gramíneas e leguminosas, sendo que as gramíneas possuem um sistema

radicular mais desenvolvido, enquanto as leguminosas têm maior eficiência de aquisição de P por unidade de raiz (Föhse et al., 1988).

As micorrizas arbusculares (MAs) são de ocorrência generalizada nos ecossistemas e desempenham função importante no crescimento das plantas (Saggin-Júnior et al., 1994). Esta simbiose exerce efeito amplamente conhecido sobre a nutrição fosfática das plantas e por isso têm sido considerada como uma das alternativas para se aumentar a eficiência do uso de fertilizantes fosfatados nos solos tropicais, que se caracterizam pela alta capacidade de sorção e baixa disponibilidade de P (Lopes, 1992). A magnitude dos benefícios da micorrização depende dos fluxos de nutrientes do fungo para a planta e de fotossintatos da planta para o fungo. Os níveis de P no solo interferem na colonização e na esporulação dos fungos MAs, sendo os efeitos deste nutriente na colonização diferentes entre espécies. A planta controla a colonização de acordo com sua necessidade, através de um balanço delicado existente entre o nível de P no solo, desenvolvimento e atividade do fungo na raiz e resposta da planta (Siqueira & Franco, 1988). A inoculação não será bem sucedida em solos férteis ou naqueles submetidos a adubações pesadas, pois a alta disponibilidade de nutrientes inibe o estabelecimento da simbiose e, mesmo que ela se estabeleça, os benefícios para a planta serão reduzidos (Siqueira, 1994). Assim, existe uma relação inversa entre a elevação do P no solo (Saggin-Júnior et al., 1994) e os benefícios da micorrização. Os benefícios da micorrização dependem da espécie vegetal. A braquiária apresenta baixa dependência micorrízica, ou seja, o quociente da produção da planta micorrizada em relação à planta não micorrizada multiplicado por 100, é da ordem de 120%, enquanto a soja nas mesmas condições de solo atinge valores de até 360% (Siqueira & Franco, 1988). Rao et al. (1997), estudando espécies de gramíneas e leguminosas em solos ácidos quanto à eficiência de aquisição e utilização de P, verificaram que a maior eficiência de aquisição de P pelas leguminosas estava associada à maior

eficiência micorrízica ou à maior atividade de fosfatase ácida nas raízes, em adição a outros fatores, embora a taxa de infecção das raízes das gramíneas tenha sido maior do que aquela das leguminosas.

Trabalhando com Latossolos, Alves (1988) concluiu que o estíloso e a braquiária utilizam P-Al, e a braquiária também utiliza P-Fe no processo de absorção de P e que as plantas micorrizadas utilizam mais eficientemente o P menos disponível no solo, principalmente as formas ligadas a Fe e Al.

2.4 Avaliação da disponibilidade de fósforo

Embora sejam complexas as interações entre as formas de P no solo, é necessário identificá-las para melhorar os conhecimentos da química do P em solos ácidos, visando garantir um suprimento adequado do nutriente para as plantas (Pavan & Chaves, 1996). O conhecimento da natureza e da distribuição dessas formas de P no solo pode fornecer informações importantes para o processo de avaliação da disponibilidade de P. Identificando-as e relacionando-as com teores obtidos por extratores químicos para P disponível é possível escolher um método de manejo de fertilizantes mais adequado, visando a uma maior utilização das quantidades aplicadas.

A análise química dos solos, por meio de extratores químicos, é o processo mais prático e o mais comumente empregado na avaliação da disponibilidade do P do solo para as plantas (Anghinoni & Volkweiss, 1974; Raij, 1981). Para que um extrator possa ser usado com segurança, é necessário que as quantidades de P que ele extrai do solo sejam relacionadas com a absorção desse elemento pelas plantas ou com a produção. O P no solo, estimado por um extrator químico, é apenas uma aproximação do P disponível à planta. Os teores extraídos são reflexos dos fatores intensidade e quantidade, podendo até mesmo incluir parte do P-não lábil, onde muitos extratores deixam

a desejar no que se refere à sensibilidade ao fator capacidade, diferentemente das condições de extração pela planta, as quais envolvem esses três fatores (Novelino, 1999).

As análises de rotina determinam, normalmente, uma parcela do P inorgânico total, mais ou menos correlacionada com o P disponível. Neste caso permanecem sem quantificação a totalidade do P orgânico e parcela considerável do P inorgânico. Tendo em vista essas limitações, vários métodos químicos baseados em extrações sequenciais foram propostos visando fracionar o P de acordo com a sua disponibilidade. A primeira tentativa de fracionamento foi proposta em 1937 (Dean, 1937), pelo uso de extrações sequenciais utilizando álcalis e ácidos. Mais tarde, Chang & Jackson (1957) aprimoraram o método, introduzindo outros extratores. Essa técnica de fracionamento tem sido amplamente utilizada nos estudos do comportamento químico do P em diferentes solos e vem sofrendo modificações. O método de Chang & Jackson (1957) é baseado na capacidade de determinadas substâncias químicas em dissolver compostos específicos de P inorgânico do solo, determinando as seguintes frações: P solúvel em água ou fracamente adsorvido (P-H₂O), P ligado ao Al (P-Al), P ligado ao Fe (P-Fe), P ligado ao Ca (P-Ca), P solúvel em redutor e P ocluso em óxidos de Al ou de Fe (P-ocluído). Essa técnica de fracionamento de P do solo tem sido amplamente utilizada nos estudos sobre o comportamento químico do P em diferentes solos, pela simplicidade do processo e pela possibilidade de conhecer a causa da deficiência desse elemento e prever a resposta das culturas à adubação fosfatada. Um método alternativo ao método de Chang & Jackson (1957) foi proposto por Hedley et al. (1982). Este separa as formas orgânicas e inorgânicas de P conforme sua disponibilidade para as plantas, podendo também ser empregado para acompanhar modificações nas formas de P, em decorrência de processos no solo (Araújo & Salcedo, 1997). Segundo Schmidt et al. (1997), a vantagem do fracionamento de Hedley et al.

(1982) é que pode ser obtida informação sobre a disponibilidade de P a curto e longo prazo através dos valores das várias frações de P, de vários graus de disponibilidade para as plantas, conforme resumido na Tabela 1. O esquema desenvolvido por Hedley et al. (1982) tem sido amplamente empregado nos últimos 10 anos. Ele extrai primeiro as formas mais lábeis, e depois as formas mais resistentes de P. O P inorgânico extraído pela resina é o P biologicamente mais disponível para as plantas. As frações de P orgânico e P inorgânico extraídas com NaHCO_3 constituem formas lábeis e disponíveis. O P liberado após tratamento com clorofórmio é extraído com NaHCO_3 e representa o P microbiano presente no solo. As frações P inorgânico e P orgânico extraídas com NaOH são moderadamente lábeis e estão adsorvidas aos óxidos de Fe e de Al. Fosfatos de Ca (P-Ca) são principalmente extraídos com HCl . Fósforo residual pode conter P inorgânico e P orgânico, sendo muito resistente à decomposição (Daroub et al., 2000).

O método de Hedley et al. (1982) é um divisor metodológico importante, pois a partir dele, trabalhos tem sido realizados com solos de regiões temperadas e, mais recentemente, em solos intemperizados (Cross & Schlesinger, 1995; Pavan & Chaves, 1996; Tokura, 2001; Fernandes et al., 2002). O interesse na utilização desse método para o estudo da dinâmica do P em solos das regiões tropicais e subtropicais tem aumentado e envolve, especialmente, a adição de fertilizantes e o manejo do solo (Rheinheimer et al., 2000). Apesar das vantagens deste método, estudos comparativos entre este e outros como o de Chang & Jackson (1957) são ainda incipientes em solos tropicais.

TABELA 1. Formas de fósforo extraídas pelo fracionamento de Hedley et al. (1982) e suas relações com a química e disponibilidade do P, conforme Cassagne & Remaury (2000).

Formas de P extraídas	Química	Disponibilidade
P-Resina	Adsorvido na superfície de compostos cristalinos.	Disponível para as plantas, diretamente trocável com a solução do solo.
NaHCO ₃ -Pi	Adsorvido na superfície de compostos cristalinos e colóides do solo.	Facilmente disponível para as plantas.
NaHCO ₃ -Po	Adsorvido nos colóides do solo.	Facilmente mineralizável - P disponível para as plantas.
NaOH-Pi	Adsorvido a Fe e Al cristalino e amorfo e associado com compostos húmicos.	Menos disponível.
NaOH-Po	Associado a compostos húmicos e adsorvido a compostos de Fe e Al.	Não diretamente disponível para as plantas.
HCl-P	Ocluso. P de minerais de baixa solubilidade tais como apatita.	Não diretamente disponível para as plantas.
P-Residual	Ocluso. Pi e Po altamente resistentes.	Não diretamente disponível para as plantas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Solos

Foram selecionados três Latossolos argilosos e muito argilosos coletados na camada de 0-20 cm (amostras compostas), sob condição de vegetação nativa e sob cultivo convencional por mais de 10 anos, envolvendo calagens e adubações fosfatadas periódicas (Tabela 2). Os solos estudados foram Latossolo Amarelo coeso - LAx, coletado no Município de Linhares (ES), Latossolo Vermelho ácrico - LVw, coletado no Município de Uberlândia (MG) e Latossolo Vermelho distroférico – LVdf, coletado no Município de Patos de Minas (MG).

Após a coleta, as amostras compostas de solo foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 5 mm para os experimentos com plantas em casa de vegetação. Parte das amostras compostas foi passada em peneira de 2 mm, sendo posteriormente submetida a análises físicas e químicas.

3.2 Caracterização

A análise física envolveu a determinação da composição granulométrica da TFSA pelo método da pipeta (Day, 1965), utilizando-se NaOH 0,1 mol L⁻¹ como dispersante químico e agitação lenta (4 horas). Foram utilizadas cinco repetições (Tabela 3). As análises químicas de rotina foram realizadas de acordo com EMBRAPA (1997) e incluíram pH, complexo sortivo e C orgânico, com três repetições por determinação (Tabela 3). A disponibilidade de P foi avaliada por Mehlich-1 (EMBRAPA, 1997) e resina de troca iônica.

TABELA 2. Informações básicas sobre os solos estudados.

Solo e Simbologia dos perfis ¹	Vegetação Nativa	Localização	Uso	Manejo
Latossolo Amarelo coeso LAx-NC e LAx-C	Floresta tropical subperenifólia	Linhares (ES)	Culturas anuais (feijão e milho) por 11 anos. Nos 3 anos precedentes à amostragem, o solo permaneceu coberto com capim colônia (<i>Panicum maximum</i>)	Adubação fosfatada anualmente e calagem ocasionalmente
Latossolo Vermelho ácido-LVw-NC e LVw-C	Cerrado tropical subcaducifólio	Uberlândia (MG)	Culturas anuais por mais de 10 anos	Adubação fosfatada pesada e calagem anualmente
Latossolo Vermelho distroférico LVdf-NC e LVdf-C	Floresta tropical subcaducifólia	Patos de Minas (MG)	Culturas anuais por mais de 15 anos. Nos 5 anos precedentes à amostragem, o solo permaneceu coberto com capim braquiária (<i>Brachiaria decumbens</i>)	Adubação fosfatada anualmente e calagem ocasionalmente

¹ NC - Não cultivado; C - Cultivado.

TABELA 3. Atributos físicos e químicos dos solos estudados antes do cultivo em casa de vegetação.

Atributos	Solos					
	LAX		LVw		LVdf	
	NC	C	NC	C	NC	C
Areia grossa (g kg ⁻¹)	370	330	110	160	100	110
Areia fina (g kg ⁻¹)	100	130	100	110	80	60
Silte (g kg ⁻¹)	90	110	120	100	240	230
Argila (g kg ⁻¹)	440	430	670	630	580	600
pH em água	5,7	5,9	4,9	5,8	4,9	5,2
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,0	0,0	0,9	0,0	0,8	0,2
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	3,2	3,0	1,2	3,7	2,3	2,2
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,8	1,2	0,1	0,2	0,9	1,1
K ⁺ (mg dm ⁻³)	90	73	36	59	64	166
H ⁺ + Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	4,0	2,3	9,8	2,9	12,3	7,0
P-Mehlich-1 (mg dm ⁻³)	4	22	2	45	78	63
P-Resina (mg dm ⁻³)	11	23	7	48	91	57
S (cmol _c dm ⁻³)	4,2	4,4	1,4	4,1	3,4	3,7
t (cmol _c dm ⁻³)	4,2	4,4	2,3	4,1	4,2	3,9
T (cmol _c dm ⁻³)	8,2	6,7	11,2	7,0	15,7	10,7
V (%)	51	66	13	58	21	35
m (%)	0	0	39	0	19	5
C org. (g kg ⁻¹)	22	14	26	19	50	32
P-H ₂ SO ₄ ¹ (mg Kg ⁻¹)	30,6	30,6	148,5	200,9	3624,4	4528,4

LAX: Latossolo Amarelo coeso; LVw: Latossolo Vermelho ácrico; LVdf: Latossolo Vermelho distroférico; NC: Não cultivado; C: cultivado.

¹ P-H₂SO₄: P extraído pela digestão com ataque sulfúrico, o qual ataca basicamente a fração argila do solo.

3.3 Experimentos com plantas em casa de vegetação

Foram conduzidos dois experimentos um com braquiária (*Brachiaria decumbens*) e outro com soja (*Glycine max*) variedade CAC-1, em vasos com capacidade para 4 kg de solo. Os solos, antes da montagem do experimento, receberam calcário na quantidade indicada para elevar o valor da saturação por bases a 60% e adubação básica combinada com a aplicação de duas doses de P, que constituíram os tratamentos, definidas com base em ensaio preliminar com

milho em casa de vegetação. Nas amostras destinadas ao cultivo com braquiária, aplicou-se adicionalmente NH_4NO_3 para atingir uma concentração no solo de 80 mg Kg^{-1} de N. Logo após, os solos foram incubados por 45 dias, mantendo-os com 60% do volume total de poros preenchidos com água. Em seguida, os solos foram revolvidos e fumigados com brometo de metila. Após a ventilação do material foi feita inoculação com uma suspensão de esporos, obtida pelo método de Gerdermann & Nicolson (1963), sendo o volume e concentração ajustados para aplicação de 300 esporos por vaso. A inoculação foi realizada em metade dos vasos utilizando-se 1 mL da suspensão de esporos em orifícios feitos no solo. Em seguida procedeu-se o plantio. Para a braquiária, utilizou-se cerca de 10 sementes e para a soja 4 sementes por vaso, sendo mantidas, após o desbaste, duas plantas por vaso. Antes do plantio as sementes de soja foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* procedente da Embrapa-Agrobiologia.

Os tratamentos foram constituídos pelo histórico de uso, ou seja, solo nunca cultivado (NC), coletado sob vegetação nativa, e solo cultivado (C) por vários anos, com calagens e adubações periódicas; doses de P (P1 e P2) onde foram usadas quantidades de P nos níveis de 5 e 50% da dose indicada para a produção máxima, determinada com base em experimento preliminar, sendo que as quantidades mínimas (P1) e máximas (P2) aplicadas no LAX, LVW e LVdf foram respectivamente: 15 e 150; 20 e 200; e 30 e 300 mg Kg^{-1} de P (Motta, 1999); e inoculação com fungo micorrízico *Glomus etunicatum* (sem e com inoculação). Os tratamentos foram dispostos em casa de vegetação segundo um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial que incluiu 2 condições históricas de solo (não cultivado e cultivado) x 2 condições de P (P1 e P2) x 2 condições biológicas (sem e com inoculação com *Glomus etunicatum*), com três repetições. Os tratamentos foram analisados separadamente em cada solo e em cada planta, totalizando 144 vasos, os quais foram plantados com soja e braquiária, tendo sido realizados dois cultivos.

O fracionamento de P foi realizado nas amostras retiradas nos diferentes tratamentos após os dois cortes das plantas, tendo sido utilizadas três repetições. Os dados de plantas não são aqui apresentados tendo em vista que o enfoque do trabalho é direcionado para o fracionamento de P.

3.4 Fracionamento de fósforo das amostras

As amostras de solos coletadas no campo e aquelas coletadas após os dois cultivos em casa de vegetação foram moídas em gral de ágata e passadas em peneiras de 100 meshes. Em seguida, foram determinadas as frações de P segundo metodologia proposta por Chang & Jackson (1957) e Hedley et al. (1982). No fracionamento proposto por Chang & Jackson (1957) foram separadas as formas de P ligadas a Al (P-Al), extraídas com NH_4F $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ a pH 8,2; P ligado a Fe (P-Fe), extraído com NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$; e P ligado a Ca (P-Ca), extraído com H_2SO_4 $0,25 \text{ mol L}^{-1}$. Após a extração do P-Al, o solo residual foi centrifugado duas vezes com NaCl 1 mol L^{-1} e descartou-se o sobrenadante.

No fracionamento conforme Hedley et al. (1982), o P inorgânico mais lábil foi extraído com resina de troca aniônica saturada com bicarbonato (P-Resina), o P inorgânico lábil (Pi- NaHCO_3) e P orgânico (Po- NaHCO_3), adsorvidos nas superfícies dos colóides, foram extraídos com NaHCO_3 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, o P inorgânico (Pi- NaOH) associado aos óxidos de Fe e de Al e o P orgânico (Po- NaOH), associado aos compostos húmicos, foram extraídos com NaOH $0,5 \text{ mol L}^{-1}$. O P ligado a Ca, considerado não disponível a curto prazo, foi extraído com HCl 1 mol L^{-1} e finalmente no resíduo, o Pi e Po, mais quimicamente estáveis, foram determinados através de digestão usando $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$ concentrados. Nos extratos do bicarbonato, bicarbonato após tratamento com clorofórmio, extrato acidificado do bicarbonato e hidróxido de Na, procedeu-se à

determinação do P com e sem autoclavagem, para a separação do Pi e do Po. O P nos extratos foi determinado por colorimetria, usando o método de Murphy & Riley (1962).

3.5 Análises estatísticas

Procedeu-se a análise de variância e testes de média (Tukey) dos dados do fracionamento de P, usando o programa de análises estatísticas SISVAR.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Método de Chang & Jackson (1957)

4.1.1 Solos cultivados com braquiária

Na Tabela 4 são apresentados os efeitos do histórico de uso, adubação fosfatada e inoculação sobre as quantidades de P ligadas ao Al, Fe e Ca. Verificaram-se efeitos significativos individuais do histórico de uso e adubação

TABELA 4. Significância do efeito dos fatores histórico de uso (H), doses de fósforo (P) e inoculação com fungo micorrízico (I) e suas interações sobre as formas de P de três Latossolos cultivados com braquiária.

FV	P-Al			P-Fe			P-Ca		
	LAx	LVw	LVdf	LAx	LVw	LVdf	LAx	LVw	LVdf
H-	*	*	*	*	*	ns	*	*	*
P	*	*	*	*	*	*	ns	ns	ns
I	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
H x P	ns	*	ns	*	*	ns	ns	ns	ns
H x I	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
P x I	*	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
H x P x I	*	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade,
ns - Não significativo.

fosfatada e, de interação dupla e tripla entre os fatores. Tanto os efeitos individuais como os de interação foram influenciados pela classe de solo e forma de P avaliada. Neste trabalho não foram discutidas as interações triplas.

Para o P-AI (Tabela 5), verifica-se efeito da adubação no LVdf, com aumento dessa fração quando adicionou-se a maior dose de P. Nos demais solos, o efeito do P ocorreu em interação, no LAx com a inoculação e no LVw com o histórico de uso. No primeiro, observa-se efeito da inoculação apenas na maior dose de P e, no segundo (H x P), ocorre efeito do P com a maior resposta no solo não cultivado. No LAx e LVdf foi verificado também efeito individual do

TABELA 5. P-AI (mg kg^{-1}) no solo cultivado com braquiária, em resposta à aplicação de duas doses de P (P1 e P2) e inoculação com fungo micorrízico (NI e I) em três Latossolos previamente cultivados (C) e não cultivados (NC).

	Aplicação de P		Inoculação	
	P1	P2	NI	I
Latossolo Amarelo coeso - LAx				
P1	-	-	23 Ab	26 Ab
P2	-	-	103 Aa	97 Ba
		NC	C	
		52 B	72 A	
Latossolo Vermelho ácrico - LVw				
NC	17 Bb	78 Ab	-	-
C	72 Ba	159 Aa	-	-
Latossolo Vermelho distroférico - LVdf				
	NC	C	P1	P2
	728 A	526 B	558 B	696 A

Obs: As tabelas mostram apenas resultados significativos - Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade; - A e B comparam médias na horizontal e, a e b, na vertical.

histórico de uso. No primeiro observa-se um aumento da fração pelo cultivo e no segundo um efeito de redução.

A fração P-Fe foi influenciada pela aplicação de P no LVdf (Tabela 6), onde a maior dose de P elevou essa fração. Para os demais solos o efeito do P foi influenciado pelo histórico de uso. No LAx e no LVw o aumento ocorreu principalmente no solo não cultivado. No LVw também houve interação entre histórico e inoculação, sendo verificado seu efeito no solo não cultivado, onde os teores de P-Fe foram maiores com a inoculação.

Para a fração P-Ca, verifica-se que os teores foram mais baixos que os das outras frações. Segundo Hsu (1977), à medida em que os solos vão se tornando mais ácidos pela remoção de sílica e bases, formas mais solúveis de

TABELA 6. P-Fe (mg kg^{-1}) no solo cultivado com braquiária, em resposta à aplicação de duas doses de fósforo (P1 e P2) e inoculação com fungo micorrízico (NI e I) em três Latossolos previamente cultivados (C) e não cultivados (NC).

	Aplicação de P		Inoculação	
	P1	P2	NI	I
Latossolo Amarelo coeso - LAx				
NC	7 Bb	13 Ab	-	-
C	30 Ba	53 Aa	-	-
Latossolo Vermelho ácrico - LVw				
NC	45 Bb	106 Ab	73 Bb	78 Ab
C	108 Ba	153 Aa	133 Aa	128 Aa
Latossolo Vermelho distroférico - LVdf				
	P1	P2		
	973 B	1007A		

Obs: As tabelas mostram apenas resultados significativos - Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade; - A e B comparam médias na horizontal e, a e b, na vertical.

P-Ca são convertidas para P-Al e P-Fe. A fração P-Ca foi influenciada pelo histórico de uso nos três solos, com aumento dessa fração principalmente no LVw e LVdf (Tabela 7). As maiores quantidades de P-Ca nos solos cultivados, podem ser atribuídas à atividade do Ca proporcionada pela calagem em cultivos anteriores ao realizado em casa de vegetação e que também certamente receberam fertilizantes fosfatados. Comportamento semelhante foi observado por Novelino (1999). No LAx, além do efeito de histórico de uso, houve também interação entre adubação fosfatada e inoculação, sendo que, na menor dose a inoculação reduziu o P-Ca, o mesmo não ocorrendo na maior dose de P.

TABELA 7. P-Ca (mg kg^{-1}) no solo cultivado com braquiária, em resposta à aplicação de duas doses de P (P1 e P2) e inoculação com fungo micorrízico (NI e I) em três Latossolos previamente cultivados (C) e não cultivados (NC).

	Aplicação de P		Inoculação	
	P1	P2	NI	I
	Latossolo Amarelo coeso -LAX			
P1	-	-	3 Aa	1 Bb
P2	-	-	2 Ab	2 Aa
		NC	C	
		1 B	2 A	
	Latossolo Vermelho ácrico- LVw			
		NC	C	
		5 B	59 A	
	Latossolo Vermelho distroférico - LVdf			
		NC	C	
		272 B	326 A	

Obs: As tabelas mostram apenas resultados significativos - Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade; A e B comparam médias na horizontal e, a e b, na vertical.

Portanto, a micorrização pode ter favorecido a braquiária na absorção do P ligado a Ca, indicando assim os benefícios da simbiose para a aquisição de P do solo.

4.1.2 Solos cultivados com soja

Nos solos cultivados com soja (Tabela 8) verificaram-se também efeitos significativos individuais e de interações entre os fatores estudados para as formas de P ligadas a Al, Fe e Ca.

Para o P-Al, verifica-se que a aplicação de P aumentou essa fração nos três solos (Tabela 9), sendo que, os aumentos foram maiores no LAx e LVw, e as maiores respostas à adição de P foram nos solos não cultivados, provavelmente porque nestas condições esses solos possuem mais baixos teores de P. Houve efeito significativo para H e P nos três solos, enquanto para I só ocorreu no LAx. No LAx, o solo inoculado apresentou menores teores de P-Al que o solo não inoculado. Esse efeito foi mais pronunciado na soja já que ocorre de forma individual. O P-Al no LAx e LVw foi maior no solo cultivado, sendo

TABELA 8. Significância do efeito dos fatores histórico de uso (H), doses de fósforo (P) e inoculação com fungo micorrízico (I) e suas interações sobre as formas de P de três Latossolos cultivados com soja.

FV	P-Al			P-Fe			P-Ca		
	LAx	LVw	LVdf	LAx	LVw	LVdf	LAx	LVw	LVdf
H	*	*	*	*	*	ns	ns	*	*
P	*	*	*	*	*	*	ns	ns	ns
I	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns
H x P	*	*	ns	*	*	ns	ns	ns	ns
H x I	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	ns
P x I	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	*
H x P x I	*	*	ns	*	*	ns	ns	ns	ns

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade,
ns - Não significativo.

TABELA 9. P-Al (mg kg⁻¹) no solo cultivado com soja, em resposta à aplicação de duas doses de P (P1 e P2) e inoculação com fungo micorrízico (NI e I) em três Latossolos previamente cultivados (C) e não cultivados (NC).

	Aplicação de P		Inoculação	
	P1	P2	NI	I
Latossolo Amarelo coeso -LAX				
NC	21 Bb	86 Ab	-	-
C	35 Ba	91 Aa	-	-
	NI	I		
	62 A	55 B		
Latossolo Vermelho ácrico -LVw				
NC	23 Bb	96 Ab	-	-
C	83 Ba	188 Aa	-	-
Latossolo Vermelho distroférico -LVdf				
NC	-	-	852 Aa	798 Ba
C	-	-	592 Bb	615 Ab
	P1	P2		
	558 B	647 A		

Obs: As tabelas mostram apenas resultados significativos - Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade; A e B comparam médias na horizontal e, a e b, na vertical.

esse efeito mais acentuado no LVw. No LVdf houve redução do P-Al com o cultivo prévio do solo, sendo que a inoculação reduziu os teores de P-Al no solo não cultivado, indicando que a planta micorrizada absorveu mais P-Al que a planta não micorrizada.

A fração P-Fe foi influenciada pela aplicação de P nos três solos (Tabela 10). No LAX verifica-se que o efeito do P é influenciado pelo histórico de uso, sendo que o aumento da fração, na maior dose, ocorre principalmente no solo não cultivado e quando o solo não é inoculado (P x I). Para o LVw o efeito do P

TABELA 10. P-Fe (mg kg^{-1}) no solo cultivado com soja, em resposta à aplicação de duas doses de P (P1 e P2) e inoculação com fungo micorrízico (NI e I) em três Latossolos previamente cultivados (C) e não cultivados (NC).

	Aplicação de P		Inoculação	
	P1	P2	NI	I
Latossolo Amarelo coeso - LAX				
NC	11 Bb	22 Ab	-	-
C	43 Ba	61 Aa	-	-
P1	-	-	26 Ab	27 Ab
P2	-	-	43 Aa	40 Ba
Latossolo Vermelho ácrico - LVw				
NC	44 Bb	102 Ab	-	-
C	101 Ba	148 Aa	-	-
Latossolo Vermelho distroférico - LVdf				
	P1	P2		
	973 B	1007 A		

Obs: As tabelas mostram apenas resultados significativos - Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade; A e B comparam médias na horizontal e, a e b, na vertical.

também foi influenciado pelo histórico de uso e principalmente no solo não cultivado.

No geral, a fração P-Fe predominou nos solos, com exceção do LAX. Isso indica maior grau de solubilização para as formas P-Al e retenção como P-Fe. Segundo Novelino (1999), trabalhos envolvendo o fracionamento de P inorgânico, especialmente em solos intemperizados, quase sempre revelam aumentos do P-Fe e diminuição do P-Al com o incremento do tempo de contato entre fosfato e solo.

Para a fração P-Ca (Tabela 11), verifica-se que o efeito do P ocorreu somente no LVdf em interação com a inoculação. Neste caso a inoculação

aumentou a fração P-Ca na menor dose de P. No LVdf observou-se também efeito individual do histórico de uso, com valores mais elevados no solo cultivado. Para o LVw foi observado somente efeito de interação entre o histórico de uso e inoculação, com redução do P-Ca principalmente no solo cultivado.

As frações P-Fe e P-Al predominaram sobre P-Ca. Segundo Bahia Filho & Braga (1975), esta é uma das características de solos mais intemperizados, pobres em Ca. A aplicação de P elevou o P-Ca no LVdf, e o cultivo teve efeito acentuado no LVw. Nos solos, com exceção para o P-Al e P-Fe do LVdf, os maiores valores de P-Al, P-Fe e P-Ca são encontrados nos solos cultivados, provavelmente devido às adubações fosfatadas anteriormente feitas nesses solos.

TABELA 11. P-Ca (mg kg^{-1}) no solo cultivado com soja, em resposta à aplicação de duas doses de P (P1 e P2) e inoculação com fungo micorrízico (NI e I) em dois Latossolos previamente cultivados (C) e não cultivados (NC).

	Concentração de P (mg kg^{-1})			
	Aplicação de P		Inoculação	
	P1	P2	NI	I
	Latossolo Vermelho ácrico -LVw			
NC	-	-	2 Ab	1 Ab
C	-	-	29 Aa	23 Ba
	Latossolo Vermelho distroférico -LVdf			
P1	-	-	286 Bb	297 Aa
P2	-	-	312 Aa	307 Aa
	NC	C		
	278 B	324 A		

Obs: As tabelas mostram apenas resultados significativos - Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade; A e B comparam médias na horizontal e, a e b, na vertical.

Na braquiária a inoculação aumentou a absorção de P-Al no L_{Ax}, na maior dose de P, e de P-Ca na menor dose de P. Um mecanismo efetivo das raízes das plantas para aumentar a disponibilidade de P no solo é a diminuição do pH na interface raiz-solo e portanto a incrementação da mobilização do fosfato de cálcio pouco solúvel (Li et al., 1991). Na soja as plantas micorrizadas aumentaram a absorção de P-Al no L_{Ax}, independente de qualquer fator estudado, e no LVdf-NC; P-Fe no L_{Ax} na maior dose de P; e P-Ca no solo cultivado. Portanto, a soja foi mais eficiente em utilizar P ligado a Fe (P-Fe) que a braquiária. Esta habilidade pode ser atribuída a exsudatos radiculares, em particular ácido psídico, ocorrendo liberação do P do P-Fe pela quelação com Fe³⁺ (Ae et al., 1990).

Quando se compara os dados do fracionamento de Chang & Jackson (1957), antes (Tabela 12) e após os cultivos em casa de vegetação, verifica-se

TABELA 12. Fracionamento de P (mg kg⁻¹) de amostras de solo coletadas no campo antes dos cultivos em casa de vegetação, segundo metodologia de Chang & Jackson (1957) e Hedley et al. (1982), em três Latossolos previamente cultivados (C) e não cultivados (NC).

	L _{Ax}		LVw		LVdf	
	NC	C	NC	C	NC	C
	Chang e Jackson					
P-Al	22	50	23	79	703	504
P-Fe	10	39	35	85	839	839
P-Ca	1	2	5	33	283	341
	Hedley et al.					
P-Resina	6	13	4	30	129	86
Pi-Bicarbonato	2	14	6	18	153	105
Po-Bicarbonato	17	20	18	15	59	23
Pi-NaOH	24	65	63	145	1707	1615
Po-NaOH	47	29	71	62	327	279
P-HCl	2	14	1	41	150	135
P-Residual	650	969	1162	1320	2581	4113

que geralmente houve redução da fração P-Al depois dos cultivos em casa de vegetação, principalmente nos solos com braquiária. Isto acha-se em consonância com Alves (1988). Já a fração P-Fe, ao contrário do P-Al, tendeu a aumentar e não ocorreram muitas alterações na fração P-Ca.

4.2 Método de Hedley et al. (1982)

4.2.1 Solos cultivados com braquiária

Para as formas de P no solo obtidas pelo fracionamento seqüencial de Hedley et al. (1982) verificaram-se efeitos variados dos fatores nas diferentes frações e solos estudados (Tabela 13).

Para os teores de P-resina, considerado o mais disponível para as plantas (Amer et al., 1955), houve efeito de H e P em todos os solos. O cultivo anterior do solo elevou o P-resina no LAX e LVw. Segundo Lilienfein et al. (2000), a influência do cultivo do solo é mais forte nas frações de P mais disponíveis. Nos solos LAX e LVw, o efeito do P foi influenciado pelo histórico de uso, mostrando que a maior dose de P aumenta o P-resina, principalmente no solo não cultivado (Tabela 14). A inoculação não teve efeito isolado sobre o P-resina em nenhum solo.

A aplicação de P aumentou o teor de P inorgânico extraído pelo NaHCO_3 (Pi-NaHCO_3) em todos os solos. (Tabela 15). Duffera & Robarge (1996) também verificaram aumentos nas quantidades de P lábil com a aplicação de fertilizantes em solos cultivados. No LVdf, efeito individual foi também verificado para o histórico de uso, mostrando que o cultivo reduziu essa fração no solo. Para os demais solos, o efeito do P ocorreu em interação. No LAX a interação entre histórico de uso e adubação fosfatada (H x P) mostrou que a maior dose de P aumentou essa fração, principalmente no solo cultivado, já que a inoculação no solo não cultivado (H x I) reduziu essa fração quando a maior

TABELA 13. Significância do efeito dos fatores histórico de uso (H), doses de fósforo (P) e inoculação com fungo micorrízico (I) e suas interações sobre as formas de P em três Latossolos, cultivados com braquiária

FV	Formas de P						
	Resina	Pi- NaHCO ₃	Po- NaHCO ₃	Pi-NaOH	Po- NaOH	HCl	P- Resid
Latossolo Amarelo coeso - LAX							
H	*	*	*	*	*	ns	*
P	*	*	*	*	*	*	ns
I	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
H X P	*	*	*	*	ns	ns	ns
H X I	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
P X I	ns	*	ns	*	*	ns	ns
H X P X I	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns
Latossolo Vermelho ácrico - LVw							
H	*	*	*	*	*	*	*
P	*	*	*	*	*	*	ns
I	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
H X P	*	*	*	*	*	*	ns
H X I	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P X I	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns
H X P X I	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns
Latossolo Vermelho distroférrico - LVdf							
H	*	*	*	ns	*	ns	*
P	*	*	*	*	ns	ns	ns
I	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
H X P	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
H X I	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P X I	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
H X P X I	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

* - Significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

ns - Não significativo.

dose de P é adicionada ao solo (P x I). No LAX-NC, o efeito da inoculação reduziu o Pi-NaHCO₃, indicando que a planta inoculada absorveu mais P que a planta não inoculada. Também no LAX foi verificado efeito da inoculação somente na maior dose de P (Tabela 15), ficando assim evidente a interação entre o nível de P no solo e a micorrização. Para o LVw a interação entre o

TABELA 14. Pi-resina (mg kg^{-1}) no solo cultivado com braquiária, em resposta à aplicação de duas doses de P (P1 e P2) e inoculação com fungo micorrízico (NI e I) em três Latossolos previamente cultivados (C) e não cultivados (NC)

	Aplicação de P		Inoculação	
	P1	P2	NI	I
Latossolo Amarelo coeso - LAx				
NC	2 Bb	18 Ab	-	-
C	7 Ba	29 Aa	-	-
Latossolo Vermelho ácrico -LVw				
NC	3 Bb	14 Ab	-	-
C	32 Ba	50 Aa	-	-
Latossolo Vermelho distroférico -LVdf				
NC	-	-	59 Aa	63 Aa
C	-	-	49 Ab	48 Ab
	P1	P2		
	46 A	64 B		

Obs: As tabelas mostram apenas resultados significativos - Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade; - A e B comparam médias na horizontal e, a e b, na vertical.

histórico de uso e adubação fosfatada mostra que o aumento ocorre principalmente no solo não cultivado.

As frações inorgânicas lábeis, que correspondem ao P extraído com resina e NaHCO_3 , constituíram as menores frações. Baixos níveis de P lábil são esperados em solos altamente intemperizados (Wright & Coleman, 1999).

A importância do Po é destacada por Novais & Smyth (1999), pois em muitos solos sua participação é superior à do P inorgânico. Para o Po- NaHCO_3 , que é a fração mais lábil entre as frações orgânicas, verifica-se que o efeito da aplicação de P ocorreu apenas em interação com o histórico de uso. No LAx e LVdf observa-se um aumento dessa fração no solo não cultivado, enquanto que,

TABELA 15. $Pi-NaHCO_3$ ($mg\ kg^{-1}$) no solo cultivado com braquiária, em resposta à aplicação de duas doses de P (P1 e P2) e inoculação com fungo micorrízico (NI e I) em três Latossolos previamente cultivados (C) e não cultivados (NC)

	Aplicação de P		Inoculação	
	P1	P2	NI	I
Latossolo Amarelo coeso -LAX				
NC	3 Bb	7 Ab	6 Ab	4 Bb
C	10 Ba	29 Aa	19 Ba	20 Aa
P1	-	-	6 Ab	7 Ab
P2	-	-	19 Ba	17 Aa
Latossolo Vermelho ácido -LVw				
NC	4 Bb	22 Aa		
C	12 Ba	18 Ab		
Latossolo Vermelho distroférrico -LVdf				
NC	C	P1	P2	
74 A	54 B	51 B	77 A	

Obs: As tabelas mostram apenas resultados significativos - Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade; A e B comparam médias na horizontal e, a e b, na vertical.

no LVw esse aumento ocorre no solo cultivado (Tabela 16). No LVw não cultivado pode ter ocorrido uma maior mineralização de Po com a adição de P. Perdas ou ganhos de Po com a adição de P foram também observados por Araújo & Salcedo (1997).

O extrator NaOH remove o P que é menos relacionado com a absorção pelas plantas do que o P- $NaHCO_3$ e resina (Enwezor, 1977), e essa fração é associada com óxidos de Fe e de Al com grau variado de cristalinidade (Syers et al., 1969). O Pi-NaOH foi a fração inorgânica predominante, corroborando o trabalho de Cross & Schlesinger (1995), superior às frações P-resina e

TABELA 16. Po-NaHCO₃ (mg kg⁻¹) no solo cultivado com braquiária, em resposta à aplicação de duas doses de P (P1 e P2) e inoculação com fungo micorrízico (NI e I) em três Latossolos previamente cultivados (C) e não cultivados (NC)

	Aplicação de P	
	P1	P2
Latossolo Amarelo coeso -LAX		
NC	12 Ba	27 Aa
C	10 Aa	12 Ab
Latossolo Vermelho ácrico -LVw		
NC	14 Aa	15 Ab
C	14 Ba	28 Aa
Latossolo Vermelho distroférico -LVdf		
NC	138 Ba	171 Aa
C	115 Ab	124 Ab

Obs: As tabelas mostram apenas resultados significativos - Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade; A e B comparam médias na horizontal e, a e b, na vertical.

P-NaHCO₃, consideradas como o P lábil na maioria dos solos. No LVdf verificou-se efeito da aplicação de P, com o aumento da fração Pi-NaOH com a maior dose de P (Tabela 17). Para os demais solos, o efeito do P ocorreu em interação com o histórico de uso, com aumento do Pi-NaOH principalmente no solo não cultivado, e em interação com a inoculação. Neste caso foi verificado que no LAX, independente da dose, a inoculação reduziu essa fração, enquanto que, no LVw ocorreu um ligeiro aumento com a maior dose de P.

A contribuição da fração Po-NaOH foi maior que a Po-NaHCO₃, como também observado por Cassagne & Remaury (2000). Em solos de regiões temperadas, o Po-NaOH está associado a formas menos disponíveis de P e que envolvem transformações a longo prazo (Bowman & Cole, 1978). Em solos

TABELA 17. Pi-NaOH (mg kg⁻¹) no solo cultivado com braquiária, em resposta à aplicação de duas doses de P (P1 e P2) e inoculação com fungo micorrízico (NI e I) em três Latossolos previamente cultivados (C) e não cultivados (NC)

	Aplicação de P		Inoculação	
	P1	P2	NI	I
Latossolo Amarelo coeso -LAX				
NC	9 Bb	26 Ab	-	-
C	24 Ba	46 Aa	-	-
P1	-	-	18 Ab	15 Bb
P2	-	-	38 Aa	35 Ba
Latossolo Vermelho ácrico -LVw				
NC	30 Bb	53 Ab	-	-
C	103 Ba	135 Aa	-	-
P1	-	-	68 Ab	66 Ab
P2	-	-	93 Ba	96 Aa
Latossolo Vermelho distroférico -LVdf				
	P1	P2		
	1432 B	1589 A		

Obs: As tabelas mostram apenas resultados significativos - Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade; A e B comparam médias na horizontal e, a e b, na vertical.

tropicais, no entanto, essa fração parece ser mais dinâmica (Tiessen et al., 1992). A aplicação de P aumentou os teores de Po-NaOH (Tabela 18). O aumento do teor de P orgânico (Po) devido à fertilização foi anteriormente demonstrado por Tiessen et al. (1992). Verifica-se que o efeito da aplicação de P sobre esta fração ocorreu apenas em interação. No LAX com a inoculação e no LVw com o histórico de uso. No primeiro caso observa-se que a inoculação reduziu esta fração apenas na menor dose de P. No segundo caso (H x P) observa-se que a maior dose aumenta essa fração principalmente no solo não cultivado. Para o LAX e LVdf, foi verificado também efeito individual do histórico de uso sobre

TABELA 18. Po-NaOH (mg kg⁻¹) no solo cultivado com braquiária, em resposta à aplicação de duas doses de P (P1 e P2) e inoculação com fungo micorrízico (NI e I) em três Latossolos previamente cultivados (C) e não cultivados (NC)

	Aplicação de P		Inoculação	
	P1	P2	NI	I
Latossolo Amarelo coeso -LAX				
P1	-	-	23 Ab	20 Bb
P2	-	-	34 Aa	35 Aa
	NC	C		
	27 B	30 A		
Latossolo Vermelho ácrico -LVw				
NC	72 Ba	132 Aa	-	-
C	73 Ba	96 Ab	-	-
Latossolo Vermelho distroférico -LVdf				
	NC	C		
	502 A	324 B		

Obs: As tabelas mostram apenas resultados significativos - Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade; - A e B comparam médias na horizontal e, a e b, na vertical.

essa variável, no primeiro solo com aumento da fração e, no segundo, com redução pelo cultivo. Araújo et al. (1993) também verificaram maiores valores das formas de Po-NaOH em área cultivada do que na área sob vegetação nativa.

Na fração P-HCl o efeito da adição de P foi relativamente pequeno (Tabela 19). Maior efeito da aplicação foi verificado para o LAX que ocorreu independentemente dos demais fatores. Para o LVw o efeito do P ocorreu em interação com o histórico de uso, com aumento dessa fração no solo cultivado. Os baixos teores da forma P-HCl, que representa a extração de P relativamente insolúvel associado com Ca são esperados, pois, se trata de solos ácidos, porém, no caso do LVw, o longo período de cultivo com a aplicação de

TABELA 19. P-HCl (mg kg⁻¹) no solo cultivado com braquiária em resposta à aplicação de duas doses de P (P1 e P2) e inoculação com fungo micorrízico (NI e I) em dois Latossolos previamente cultivados (C) e não cultivados (NC)

Latossolo Amarelo coeso - LAx		
	P1	P2
	1 B	2 A
Latossolo Vermelho ácido - LVw		
	P1	P2
NC	2 Ab	3 Ab
C	41 Ba	52 Aa

Obs: As tabelas mostram apenas resultados significativos - Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade; - A e B comparam médias na horizontal e, a e b, na vertical.

adubações pesadas de P, influenciou o P-HCl de maneira significativa. Estes resultados podem estar relacionados com a quantidade de Ca introduzida pelas calagens ao longo do período anterior de cultivo.

Das frações de P estudadas a maior no solo foi o P residual, que é composto da fração húmus mais estável (Stewart et al., 1980) e formas inorgânicas muito insolúveis. Nessa fração, ocorreu em todos os solos efeito individual do histórico de uso, com o aumento da mesma nos solos cultivados (Tabela 20). Provavelmente as adubações que esses solos receberam anteriormente, por longos períodos, alteraram essas formas de P no solo, o que pode ser atribuído à transformação do fertilizante fosfatado para formas de P menos disponíveis (aumento da fixação) a longo prazo. O fertilizante fosfatado adicionado ao solo como tratamento teve pouco efeito no P residual, indicando que o P adicionado não incorporou-se a esta fração durante o período de cultivo. Beck & Sanchez (1994) também observaram que a adição de fertilizantes fosfatados aumentou o nível de P no solo, com exceção para o P residual.

TABELA 20. P-residual (mg kg^{-1}) no solo cultivado com braquiária em resposta à aplicação de duas doses de P (P1 e P2) e inoculação com fungo micorrízico (NI e I) em três Latossolos previamente cultivados (C) e não cultivados (NC)

Tratamentos	P-residual		
	LAx	LVw	LVdf
Histórico			
NC	550 b	1031 b	2178 b
C	886 a	1324 a	3813 a
Fósforo			
P1	715 a	1198 a	2990 a
P2	722 a	1157 a	3000 a
Micorriza			
NI	725 a	1194 a	2980 a
I	711 a	1161 a	3011 a

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade; a e b comparam médias dentro de cada fator.

4.2.2 Solos cultivados com soja

Para as formas de P no solo obtidas pelo fracionamento sequencial foram verificados efeitos individuais e de interações duplas (Tabela 21) nas diferentes frações e solos estudados.

Para o P-resina (Tabela 22), verifica-se que a adubação fosfatada influenciou essa fração quando em interação com o histórico de uso (LAX, LVw e LVdf) e inoculação (LAX e LVdf). Na interação H x P do LAX e LVw foi verificado que a adubação fosfatada elevou esta fração principalmente nos solos não cultivados. Beck (1999), estudando as transformações de P após 18 anos de cultivo em solos da região amazônica, também verificou aumento do P lábil nas parcelas que receberam aplicação de fertilizantes fosfatados. Para a interação P x I verifica-se que, em ambos os solos, a inoculação reduziu essa fração na menor

TABELA 21. Significância do efeito dos fatores histórico de uso (H), doses de fósforo (P) e inoculação com fungo micorrízico (I) e suas interações sobre as formas de P em três Latossolos, cultivados com soja

FV	Formas de P						P-Resid
	Resina	Pi- NaHCO ₃	Po- NaHCO ₃	Pi- NaOH	Po-NaOH	HCl	
Latossolo Amarelo coeso - LAx							
H	*	*	*	*	*	ns	*
P	*	*	*	*	*	ns	ns
I	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
H X P	*	*	*	*	*	ns	ns
H X I	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
P X I	*	ns	ns	*	ns	ns	ns
H X P X I	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Latossolo Vermelho ácrico -LVw							
H	*	*	*	*	*	*	*
P	*	*	*	*	*	*	ns
I	ns	*	ns	*	ns	ns	ns
H X P	*	*	*	*	*	*	ns
H X I	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P X I	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
H X P X I	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
Latossolo Vermelho distroférico - LVdf							
H	*	*	*	*	*	*	*
P	*	*	*	*	ns	ns	ns
I	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
H X P	*	ns	*	*	ns	ns	ns
H X I	*	ns	*	ns	ns	ns	ns
P X I	*	ns	*	ns	ns	ns	ns
H X P X I	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

* - Significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

ns - Não significativo.

dose de P. Segundo Saggin-Júnior et al. (1994), de um modo geral, o efeito da micorrização diminui com a elevação do P no solo. No LVdf, a interação entre o histórico de uso e a inoculação foi também verificado com redução dessa fração pela inoculação somente no solo anteriormente não cultivado.

TABELA 22. Pi-resina (mg kg^{-1}) no solo cultivado com soja, em resposta à aplicação de duas doses de fósforo (P1 e P2) e inoculação com fungo micorrízico (NI e I) em três Latossolos previamente cultivados (C) e não cultivados (NC)

	Aplicação de P		Inoculação	
	P1	P2	NI	I
Latossolo Amarelo coeso -LAX				
NC	4 Bb	17 Ab	-	-
C	11Ba	28 Aa	-	-
P1	-	-	8 Ab	7 Bb
P2	-	-	22 Aa	23 Aa
Latossolo Vermelho ácrico -LVw				
NC	4 Bb	13 Ab	-	-
C	15 Ba	32 Aa	-	-
Latossolo Vermelho distroférico -LVdf				
NC	45 Ba	53 Aa	52 Aa	46 Ba
C	34 Bb	52 Aa	41 Bb	46 Aa
P1	-	-	42 Ab	38 Ab
P2	-	-	51 Aa	54 Aa

Obs: As tabelas mostram apenas resultados significativos - Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade; A e B comparam médias na horizontal e, a e b, na vertical.

Para o Pi-NaHCO_3 foi verificado efeito da adubação fosfatada (Tabela 23), com aumento da fração na maior dose de P. Beck & Sanchez (1994) também observaram que a aplicação de P aumentou o Pi-NaHCO_3 no solo. Efeito individual do histórico de uso foi observado no LVdf, com valores mais elevados no solo anteriormente não cultivado. Comportamento semelhante também observado no solo com braquiária. No LAX, o efeito do P ocorreu em interação com o histórico de uso, com aumento da fração na maior dose, principalmente no solo não cultivado e no LVw no solo cultivado. No LVw, ao

TABELA 23. $Pi-NaHCO_3$ ($mg\ kg^{-1}$) no solo cultivado com soja, em resposta à aplicação de duas doses de fósforo (P1 e P2) e inoculação com fungo micorrízico (NI e I) em três Latossolos previamente cultivados (C) e não cultivados (NC)

		Aplicação de P	
		P1	P2
Latossolo Amarelo coeso -LAX			
NC		6 Bb	18 Ab
C		13 Ba	27 Aa
Latossolo Vermelho ácrico -LVw			
NC		13 Aa	14 Ab
C		10 Bb	29 Aa
		NI	I
		17 A	16 B
Latossolo Vermelho distroférico -LVdf			
NC	C	P1	P2
140 A	96 B	96 B	140 A

Obs: As tabelas mostram apenas resultados significativos - Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade; A e B comparam médias na horizontal e, a e b, na vertical.

contrário do observado para o solo com braquiária, efeito individual da inoculação foi verificado, com redução da fração pela inoculação.

Para a fração $Po-NaHCO_3$ (Tabela 24) verificou-se que a adubação fosfatada influenciou essa fração quando em interação com o histórico de uso (LAX, LVw e LVdf) e com a inoculação (LVdf). No primeiro caso, verifica-se que, em todos os solos, a maior dose de P eleva essa fração principalmente no solo não cultivado. Comportamento semelhante, a exceção do LVw, foi observado para o solo com braquiária. A manutenção ou aumento da concentração de Po , com cultivos de solos do nordeste semi-árido, em resposta à

aplicação de fertilizante fosfatado, foi observado por Tiessen et al. (1992). No segundo caso (P x I), verifica-se que a inoculação aumenta essa fração na menor dose de P, e quando o solo foi anteriormente não cultivado (H x I).

A fração Pi-NaOH é considerada pouco disponível para as plantas (Tiessen et al., 1984) e sua solubilidade depende dos atributos químicos do solo (Lindsay, 1979). Para esta fração (Tabela 25), observa-se novamente que o efeito da aplicação de P, em todos os solos, ocorre somente em interação com o histórico de uso (LAX, LVw e LVdf) e com a inoculação (LAX). Para a interação (H x P), verifica-se que a maior dose eleva essa fração principalmente no solo

TABELA 24. Po-NaHCO₃ (mg kg⁻¹) no solo cultivado com soja, em resposta à aplicação de duas doses de fósforo (P1 e P2) e inoculação com fungo micorrízico (NI e I) em três Latossolos previamente cultivados (C) e não cultivados (NC)

	Aplicação de P		Inoculação	
	P1	P2	NI	I
Latossolo Amarelo coeso -LAX				
NC	16 Bb	47 Aa	-	-
C	25 Ba	48 Aa	-	-
Latossolo Vermelho ácrico -LVw				
NC	7 Bb	25 Aa	-	-
C	14 Ba	25 Aa	-	-
Latossolo Vermelho distroférico -LVdf				
NC	70 Ba	110 Aa	87 Ba	93 Aa
C	41 Bb	64 Ab	54 Ab	51 Ab
P1	-	-	52 Bb	59 Ab
P2	-	-	89 Aa	85 Aa

Obs: As tabelas mostram apenas resultados significativos - Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade;

- A e B comparam médias na horizontal e, a e b, na vertical.

TABELA 25. Pi-NaOH (mg kg⁻¹) no solo cultivado com soja, em resposta à aplicação de duas doses de fósforo (P1 e P2) e inoculação com fungo micorrízico (NI e I) em três Latossolos previamente cultivados (C) e não cultivados (NC)

Tratamentos	Aplicação de P		Inoculação	
	P1	P2	NI	I
Latossolo Amarelo coeso -LAX				
NC	22 Bb	46 Ab	-	-
C	53 Ba	74 Aa	-	-
P1	-	-	39 Ab	36 Bb
P2	-	-	58 Ba	61 Aa
Latossolo Vermelho ácrico -LVw				
NC	43 Bb	74 Ab	-	-
C	146 Ba	200 Aa	-	-
	NI	I		
	117 A	115 B		
Latossolo Vermelho distroférico -LVdf				
NC	1584 Ba	1835 Aa	-	-
C	1441 Bb	1569 Ab	-	-

Obs: As tabelas mostram apenas resultados significativos - Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade; A e B comparam médias na horizontal e, a e b, na vertical.

não cultivado. Para o LAX na interação (P x I) observa-se que a inoculação na menor dose de P reduziu essa fração. No LVw, o efeito da inoculação foi mais expressivo, pois houve redução desta forma de P independentemente dos demais fatores estudados.

O Po-NaOH (Tabela 26) foi a fração predominante do P orgânico extraível. A aplicação de P influenciou essa fração no LAX e LVw. No LAX o efeito do P ocorre principalmente no solo cultivado, e no LVw no não cultivado. No primeiro solo, interação entre histórico de uso e inoculação foi observada

TABELA 26. Po-NaOH (mg kg^{-1}) no solo cultivado com soja, em resposta à aplicação de duas doses de fósforo (P1 e P2) e inoculação com fungo micorrízico (NI e I) em três Latossolos previamente cultivados (C) e não cultivados (NC)

	Aplicação de P		Inoculação	
	P1	P2	NI	I
Latossolo Amarelo coeso -LAX				
NC	45 Ba	59 Ab	53 Ba	51 Aa
C	32 Bb	62 Aa	46 Ab	48 Ab
Latossolo Vermelho ácrico -LVw				
NC	73 Ba	88 Aa		
C	63 Ab	64 Ab		
Latossolo Vermelho distroférico - LVdf				
	NC	C		
	286 A	239 B		

Obs: As tabelas mostram apenas resultados significativos - Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade; A e B comparam médias na horizontal e, a e b, na vertical.

com redução da fração pela inoculação no solo não cultivado. Para o LVdf, efeito individual do histórico foi verificado, com redução dessa fração pelo cultivo. As frações de P orgânico foram variáveis, mas geralmente o cultivo reduziu os valores de Po no solo, o que pode estar associado a reduções nos teores de C orgânico, que mostrou valores sempre inferiores nos solos cultivados em relação aos não cultivados, o que se deve provavelmente a maior mineralização da matéria orgânica provocada pelo cultivo.

As variações em Po indicam que esse reservatório é um componente importante da ciclagem de P no solo (Stewart & Tiessen, 1987; Tate & Salcedo, 1988), através da sua mineralização e imobilização (Tiessen et al., 1984). O P orgânico pode agir como fator quantidade que tampona as formas de P mais lábeis através do controle da mineralização (Tiessen et al., 1984).

A fração P-HCl é associada principalmente com compostos insolúveis de P-Ca, tais como hidroxiapatita (Williams et al., 1971; Syers et al., 1972; Williams et al., 1980), sendo considerada não lábil. O P contido nessa fração só se tornará disponível no solo se ocorrer um abaixamento do pH ou dos teores de P e de cálcio em solução, o que pode ser observado na região da rizosfera (Smiley, 1974). Para essa fração (Tabela 27), verificou-se que o efeito da adubação fosfatada ocorre somente no LVw em interação com o histórico de uso. A maior dose de P aumentou essa fração no solo anteriormente cultivado. Efeito individual do histórico de uso foi observado para o LVdf com aumento da fração no solo cultivado.

O P-residual foi a fração predominante, e conforme observado na braquiária essa fração foi influenciada somente pelo histórico de uso (Tabela 28). Valores mais elevados de P-residual foram observados em todos os solos cultivados. Segundo Lilienfein et al. (2000), em sistemas cultivados, a fração de

TABELA 27. P-HCl (mg kg^{-1}) no solo cultivado com soja, em resposta à aplicação de duas doses de fósforo (P1 e P2) e inoculação com fungo micorrízico (NI e I) em três Latossolo previamente cultivado (C) e não cultivado (NC)

Tratamentos	Aplicação de P	
	P1	P2
Latossolo Vermelho ácrico -LVw		
NC	2 Ab	2 Ab
C	47 Ba	73 Aa
Latossolo Vermelho distroférico -LVdf		
NC		C
	79 B	85 A

Obs: As tabelas mostram apenas resultados significativos - Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade; A e B comparam médias na horizontal e, a e b, na vertical.

P inorgânico lábil aumenta e transforma-se lentamente em formas menos disponíveis com o tempo. O P adicionado, antes do cultivo em casa de vegetação, não foi incorporado nessa fração. A ausência de maiores modificações nessa fração após a fertilização foi também observada por Ball-Coelho et al. (1993).

Esses resultados indicam que a adição de fertilizantes fosfatados em solos tropicais geralmente aumenta as frações mais lábeis de P, mas com o passar do tempo esse P transforma-se em formas menos lábeis, resultando na diminuição da disponibilidade do P aplicado.

A inoculação aumentou a absorção de P-resina pela soja no LAx-P1 e LVdf-NC. Para o Pi-NaHCO₃ a absorção foi maior no LAx-NC e LAx-P2 com braquiária, e no LVw com soja. Esses resultados mostram que as micorrizas podem aumentar a absorção de P lábil no solo. Para o Pi-NaOH foi verificado

TABELA 28. P-residual (mg kg⁻¹) no solo cultivado com soja em resposta à aplicação de duas doses de fósforo (P1 e P2) e inoculação com fungo micorrízico (NI e I) em três Latossolos previamente cultivados (C) e não cultivados (NC)

Tratamentos	P-residual (mg kg ⁻¹)		
	LAx	LVw	LVdf
Histórico			
NC	647 b	896 b	2085 b
C	827 a	1017 a	3721 a
Fósforo			
P1	736 a	948 a	2937 a
P2	738 a	965 a	2869 a
Micorriza			
NI	737 a	961 a	2870 a
I	737 a	952 a	2935 a

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade; a e b comparam médias dentro de cada fator.

que plantas micorrizadas absorveram mais essa fração no LAX-P1 e P2 com braquiária e, LAX-P1 e LVw com soja. Em muitos estudos, plantas micorrizadas e não micorrizadas parecem usar a mesma fonte de P lábil, entretanto, Jayachandran et al. (1989) demonstraram que plantas micorrizadas podem obter P de fontes menos disponíveis. No LAX-P1 com braquiária e no LAX-NC com soja, a absorção de Po-NaOH pelas plantas micorrizadas foi maior do que pelas plantas não micorrizadas. O aumento na absorção de Po por plantas micorrizadas sugere que a mineralização de Po é aumentada por fungos micorrízicos e a produção de fosfatase poderia ser um mecanismo direto para a mineralização de Po no solo (Jayachandran et al., 1992).

Quando se compara os dados do fracionamento de Hedley et al. (1982), antes (Tabela 12) e após os cultivos em casa de vegetação, verifica-se que as frações lábeis (resina e NaHCO_3) diminuíram depois dos cultivos, com braquiária ou soja, confirmando a labilidade dessas frações. Depois da remoção do P disponível pelas raízes, estas passam a absorver o P ligado às superfícies reativas que estão em contato direto com a fase aquosa ou adsorvido mais fisicamente (Hingston et al., 1974). No LVdf, as maiores modificações ocorreram nas frações inorgânicas lábeis, enquanto que na fração moderadamente lábil (P-NaOH) a redução foi pequena. As maiores mudanças ocorreram no LAX e LVw, com reduções nas frações lábeis e pouco lábeis. No entanto, no solo cultivado com braquiária as mudanças foram mais acentuadas mostrando que esta extraiu mais as formas menos lábeis de P do que a soja. Possivelmente as formas extraídas com NaOH potencialmente contribuem para o tamponamento do P disponível, conforme também fora observado em outros trabalhos (Ball-Coelho, 1993; Beck & Sanchez, 1994).



4.3 Considerações Gerais

O efeito da inoculação com *Glomus etunicatum* foi menor que os outros fatores estudados e assim como H e P influenciou de maneira diferenciada as frações de P em ambos os métodos e solos estudados.

Um resumo do efeito dos fatores P e histórico de uso sobre as frações de P conforme as duas metodologias estudadas, expressas pelas razões C/NC e P2/P1, encontra-se nas tabelas 29 e 30. O cultivo e a aplicação de P ao solo afetaram a distribuição do P nas várias frações. No fracionamento de Chang & Jackson (1957), tabela 29, o cultivo aumentou as frações P-Al, com exceção do LAx com braquiária, e P-Fe no LAx e LVw com braquiária e soja, sendo este efeito maior nos solos com menor dose de P. O efeito da aplicação de P no LAx e LVw foi maior na fração P-Al, sendo esse efeito mais evidente no solo não cultivado. No fracionamento de Hedley et al. (1982), tabela 30, o cultivo em geral, aumentou as frações inorgânicas nos solos com braquiária, principalmente no LVw, nas frações P-resina e P-HCl, quando na menor dose de P. Nos solos com soja o cultivo também aumentou as frações inorgânicas no LAx e LVw, principalmente no LVw, e geralmente nos solos com menor dose de P. Para as frações orgânicas, que incluem Po-NaHCO₃ e Po-NaOH, dos solos cultivados com braquiária e soja, geralmente não houve efeito do cultivo, mas houve efeito da aplicação de P, normalmente maior nos solos não cultivados. No LVdf o efeito da aplicação de P ocorreu somente nas frações lábeis que tiveram os teores de P reduzidos pelo cultivo. A aplicação de P promoveu aumento principalmente às frações inorgânicas lábeis e moderadamente lábeis de P no LAx e LVw e este aumento foi maior nos solos não cultivados, provavelmente por causa da menor disponibilidade de P nesses solos. As frações não lábeis beneficiaram-se muito pouco da aplicação de P.

Fica evidenciado que a distribuição das formas de P no solo é muito complexa e é dependente da classe de solo e de fatores relacionados ao uso deste.

TABELA 29: Efeito significativo dos fatores fósforo e histórico de uso sobre as frações de P no solo segundo metodologia de Chang & Jackson (1957). Valores representam razão entre os fatores considerados para cada fração.

	L Ax				LV w			
	C/NC		P2/P1		C/NC		P2/P1	
	+P	-P	C	NC	+P	-P	C	NC
	Braquiária							
P-Al	-	-	-	-	2,0	4,1	2,1	4,4
P-Fe	3,8	4,0	1,6	1,8	1,4	2,3	1,4	2,3
	Soja							
P-Al	1,1	1,6	2,5	4,0	1,9	3,5	2,2	4,0
P-Fe	2,7	3,9	1,4	2,0	1,4	2,2	1,4	2,2

TABELA 30: Efeito significativo dos fatores fósforo e histórico de uso sobre as frações de P no solo segundo metodologia de Hedley et al. (1982). Valores representam razão entre os fatores considerados para cada fração.

Frações	LAx				LVw				LVdf			
	C/NC		P2/P1		C/NC		P2/P1		C/NC		P2/P1	
	+P	-P	C	NC	+P	-P	C	NC	+P	-P	C	NC
	Braquiária											
P-resina	1,6	2,8	3,6	6,4	3,5	10,6	1,5	4,5	-	-	-	-
Pi-Bic	4,0	3,3	2,7	2,2	0,8	3,0	1,4	5,4	-	-	-	-
Po-Bic	0,4	0,8	1,1	2,1	1,8	0,9	1,9	1,0	0,7	0,8	1,0	1,2
Pi-Hid	1,7	2,5	1,9	2,7	2,5	3,4	1,3	1,7	-	-	-	-
Po-Hid	-	-	-	-	0,7	1,0	1,3	1,8	-	-	-	-
P-HCl	-	-	-	-	17,4	20,6	1,2	1,5	-	-	-	-
	Soja											
P-resina	1,5	2,8	2,4	4,2	2,3	3,3	2,1	3,0	0,9	0,7	1,5	1,1
Pi-Bic	1,5	2,0	2,1	2,7	2,0	0,8	2,6	1,0	0,6	0,6	1,4	1,4
Po-Bic	1,1	1,5	1,8	2,9	0,9	2,0	1,7	3,6	0,6	0,5	1,5	1,6
Pi-Hid	1,6	2,4	1,4	2,0	2,6	3,3	1,3	2,1	0,8	0,9	1,0	1,1
Po-Hid	1,1	0,7	1,9	1,3	0,7	0,8	1,0	1,2	-	-	-	-
P-HCl	-	-	-	-	25,2	16,3	1,5	1,0	-	-	-	-

5 CONCLUSÕES

No Latossolo Amarelo coeso e Latossolo Vermelho ácrico, os teores de P-Al, P-Fe e P-Ca foram maiores nos solos cultivados, sendo observado comportamento inverso para as frações P-Al e P-Fe no Latossolo Vermelho distroférico, tendências estas não alteradas pelo cultivo com soja e braquiária em casa de vegetação.

Com a adição de P foram elevadas principalmente as frações inorgânicas lábeis (Pi-resina e Pi-NaHCO₃) e a fração Pi-NaOH, sendo as maiores proporções do P adicionado encontradas na fração moderadamente lábil (Pi-NaOH).

As frações de P nos solos foram pouco influenciadas pela micorriza que também exerceu efeito menos consistente que o cultivo e a aplicação de P sobre estas.

Os solos cultivados apresentaram menores teores de P nas frações orgânicas que os não cultivados.

Nos solos cultivados com braquiária, verificou-se menores teores de P nas frações pouco lábeis e maiores nas frações mais lábeis.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ae, N.; ARIHARA, J.; OKADA, K. Phosphorus uptake by pigeon pea and its role in cropping systems of the Indian Subcontinent. *Science, Washington*, v. 248, n. 4954, p. 477-480, Apr. 1990.

AFIF, E.; TORRENT, J. Availability of phosphate applied to calcareous soils of west Asia and North Africa. *Soil Science Society of America Journal, Madison*, v. 57, n. 3, p. 756-760, May/June 1993.

ALVES, G. L. N. Micorriza vesicular-arbusculares no crescimento e utilização do fósforo do solo pela braquiária e estilosantes. 1988. 42 p.

Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, MG.

AMER, F.; BOULDIN, D. R.; BLACK, C. A.; DUKE, F. R. Characterization of soil phosphate by anion exchange resin adsorption and ^{32}P equilibration. *Plant and Soil*, The Hague, v. 6, n. 2, p. 391-408, 1955

ANGHINONI, J.; VOLKWEEISS, S. J. Recomendações de uso de fertilizantes no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1974, Brasília. Anais... Brasília: EMBRAPA-DEP, 1974. p. 179-204.

ARAUJO, M. S. B.; SALCEDO, I. H. Formas preferenciais de acumulação de acumulação de fósforo em solos cultivados com cana-de-açúcar na região nordeste. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 21, n. 4, p. 643-650, out./dez. 1997.

ARAÚJO, M. S. B.; SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Efeito de fertilizações fosfatadas anuais em solo cultivado com cana-de-açúcar, intensidade e formas de acumulação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 17, n. 3, p. 389-396, set./out. 1993.

BAHIA FILHO, A. F. C.; BRAGA, J. M. Fósforo em latossolo do Estado de Minas Gerais, II. Quantidade de fósforo "disponível". *Revista Ceres*, Viçosa, v. 22, n. 119, p. 50-61, jan./fev. 1975.

BALL-COELHO, B.; SALCEDO, I. H.; TIESSEN, H.; STEWART, J. W. B. Short and long term phosphorus dynamic in a fertilized under sugarcane. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 57, n. 4, p. 1027-1034, July/Aug. 1993.

BARROW, N. J. Evaluation and utilization of residual phosphorus in soils. In: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E. C.; KAMPRATH, E. J. (Ed.). *The role of phosphorus in agriculture*. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1980. p. 333-355.

BECK, M. A. *Inorganic and organic phosphorus transformations during 18 years of cultivation in the amazon basin*. 1991. 145 p. Dissertation (Master) – North Caroline state University, Raleigh.

BECK, M. A.; SANCHEZ, P. A. Soil phosphorus fraction dynamics during 18 years of cultivation on a Typic Paleudult. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 58, n. 5, p. 1424-1431, Sept./Oct. 1994.

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*, The Hague, v. 211, p. 253-282, 1964.

BOWMAN R. A.; COLE, C. V. Na exploratory method for fractionation of organic phosphorus from grassland soils. *Soil Science*, Baltimore, v. 125, n. 2, p. 95-101, Feb. 1978.

CASSAGNE, N.; REMAURY, M. Forms and profile distribution of soil phosphorus in alpine Inceptisols and Spodosols (Pyrenees, France) *Geoderma*, Amsterdam, v. 95, n. 1/2, p. 161-172, Mar. 2000.

CHANG, S. C.; JACKSON, M. L. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Science*, Baltimore, v. 84, n. 1, p. 133-144, July 1957.

CROSS, A. F.; SCHLESINGER, W. H. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: Applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. *Geoderma*, Amsterdam, v. 64, n. 3/4, p. 197-214, Jan. 1995.

DAROUB, S. H.; PIERCE, F. J.; ELLIS, B. G. Phosphorus Fractions and Fate of Phosphorus-33 in Soils under Plowing and No-Tillage. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 64, n. 1, p. 170-176, Jan./Feb. 2000.

DAY, P. R. Particle fractionation and particle – size analysis. In: BLACK, C. A. (Ed.). *Methods of soil analysis*. Madison: ASA, 1965. v. 1, p. 545-556.

DEAN, L. A. Distribution of the forms of soil phosphorus. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, v. 2 p. 223-227, 1937.

DUFFERA, M.; ROBARGE, W. P. Characterization of organic and inorganic phosphorus in the highland plateau soils of Ethiopia. *Communications Soil Science Plant Analysis*, New York, v. 27, n. 15/17, p. 2799-2814, 1996.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. (Rio de Janeiro, RJ). *Manual de métodos de análise do solo*. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

ENWEZOR, W. O. Soil testing for phosphorus in some nigerian soils. In: Comparison of methods of determining available phosphorus in soils of southeastern Nigeria. *Soil Science*, Baltimore, v. 124, n. 1, p. 123-148, Jan. 1977.

FASSBENDER, H. W. **Química del suelos: com énfases en suelos de América Latina.** San José: IICA, 1984. 422 p.

FERNANDES, L. A.; FAQUIN, V.; FURTINI, A. E.; CURI, N. Formas de Fósforo em Solos de Várzea e Biodisponibilidade para o feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 3, p. 373-383, mar. 2002.

FÖHSE, D.; CLASSEN, N.; JUNGK, A. Phosphorus efficiency of plants. I. external and internal P requirements and P uptake efficiency of different plant species. **Plant and Soil**, The Hague, v. 110, n. 1, p. 101-109, Aug. 1988.

FOX, F. M.; SEARLE, P. G. E. Phosphorus adsorption by Soils of the tropics. In: DROSDOFF, M. (Ed.). **Diversity of soils of in the tropics.** Madison, 1978. p. 97-119.

GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions British Mycological Society**, London, v. 46, n. 2, p. 235-244, 1963.

GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G. Uso eficiente de fertilizantes fosfatados. In: SEMINÁRIO DE FÓSFORO, CÁLCIO, ENXOFRE E MICRONUTRIENTES, SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVAS NA AGRICULTURA, 1986, São Paulo. **Anais...** São Paulo: MANAH, 1986. 144 p.

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

HINGSTON, F. J.; POSNER, A. M.; QUIRK, P. Anion adsorption by goethite and gibbsite. II. Desorption of anions from hydrous oxide surfaces. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 25, n. 1, p. 16-26, Mar. 1974.

HSU, P. H. Aluminium oxides and oxyhydroxids. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (Ed.). **Minerals in soil environments.** Madison: Soil Science Society of America, 1977. p. 99-144.

JAYACHANDRAN, K.; SCHWAB, A. P.; HETRICK, B. A. D. Mycorrhizal mediation of phosphorus availability: synthetic iron chelate effects on phosphorus solubilization. **Soil Science Society of America Journal**, v.53, p.1701-1706, 1989.

- JAYACHANDRAN, K.; SCHWAB, A. P.; HETRICK, B. A. D. Mineralization of organic phosphorus by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 24, n. 9, p. 897-903, Sept. 1992.
- JUO, A. S. R. ; FOX, R. L. Phosphate sorption characteristics of some Benchmark soil of West Africa. *Soil Science*, Baltimore, v. 124, n. 6, p. 370-376, June 1977.
- LARSEN, S. Soil phosphorus. *Advances in Agronomy*, New York, v. 19, p. 151-211, 1967.
- LI, X. -L.; GEORGE, E.; MARSCHNER, H. Phosphorus depletion and pH decrease at the root-soil and hyphae-soil interfaces of VA mycorrhizal white clover fertilized with ammonium. *New Phytologist*, Cambridge, v. 119, n. 3, p. 397-404, Nov. 1991.
- LILIENFEIN, J.; WILCKE, W.; AYARZA, M. A.; VILELA, L. Chemical fractionation of phosphorus, sulphur, and molybdenum in Brazilian savannah Oxisols under different land use. *Geoderma*, Amsterdam, v. 96, n. 1/2, p. 31-46, May 2000.
- LINDSAY, W. L. *Chemical equilibria in soils*. New York: John Wiley & Sons, 1979.
- LINDSAY, W. L.; MORENO, E. C. Phosphate phase equilibria in soils. *Soil Science Society of America proceedings*, Madison, v. 24, n. 2, p. 177-182, Mar./Apr. 1960.
- LINQUIST, B. A.; SINGLETON, P. W.; CASSAMAN, K. G. Inorganic and organic phosphorus dynamics during a Build-up and decline of available phosphorus in na ultisol. *Soil Science*, Baltimore, v. 162, n. 4, p. 255-264, Oct. 1996.
- LONGO, R. M.; ESPINDOLA, C. R. C-orgânico, N-total e substâncias húmicas sob influência da introdução de pastagens em áreas de cerrado e floresta Amazônica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 24, n. 4, p. 723-7299, Oct. 2000.
- LOPES, L. R. *Comparação de métodos de determinação de fósforo orgânico e dinâmica das formas de P no solo sob diferentes tempos de incubação, doses de calcário e de fosfato*. 1992. 81 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MOREIRA, A. Efeito de fontes e doses de fósforo na alfafa e centrosema e avaliação de extratores. 1997. 107 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

MOTTA, P. E. F. Fósforo em Latossolos com diferentes mineralogias, cultivados e não cultivados: Fracionamento, Sorção e Disponibilidade para soja e braquiária com e sem micorriza. 1999. 158 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

MUNIZ, A. S. Efeito da reação do solo na disponibilidade de fósforo em Latossolo Roxo, avaliada por extratores químicos e por plantas de arroz e milho, ESALQ, 1995. 146 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution methods for the determination of phosphate in natural waters. Analytica Chimica Acta, Amsterdam, v. 26, n. 1, p. 31-36, 1962.

NAHAS, E.; CENTURION, J. F. Efeito das características químicas dos solos sobre os microrganismos solubilizadores de fosfato e produtores de fosfatases. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 18, n. 1, p. 49-53, jan/abr. 1994.

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

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

PAVAN, M. A.; CHAVES, J. C. D. Alterações nas frações de fósforo no solo associadas com a densidade populacional de cafeeiros. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas v. 20, n. 2, p. 251-256, maio/ago. 1996.

RAIJ, B. van. Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1981. 142 p.

RAO, L. M.; BORRETO, V.; RICAURTE, J.; GARCIA, R.; AYARZA, M. A. Adaptive attributes of tropical forage species to acid soils. III. Differences in phosphorus acquisition and utilization as influenced by varying phosphorus

supply and soil type. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 20, n. 1, p. 155-180, 1997.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; KAMINSKI, J. Depleção do fósforo inorgânico de diferentes frações provocada pela extração sucessiva com resina em diferentes solos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 345-354, abr./jun. 2000.

SAGGIN-JÚNIOR, O. J.; SIQUEIRA, J. O.; GUIMARÃES, P. T. G.; OLIVEIRA, E. Interação fungos micorrízicos versus superfosfato e seus efeitos no crescimento e teores de nutrientes do cafeeiro em solo não fumigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, n. 1, p. 27-36, jan./jun. 1994.

SANCHEZ, P. A.; PALM, C. A.; SMYTH, T. J. Phosphorus dynamics in shifting cultivation systems in the Amazon. In: TIESSEN, H.; HERNANDEZ, D. L.; SALCEDO, I. H. (Ed.). **Phosphorus cycles in terrestrial and aquatic ecosystems**. Canadá, 1991. p. 142-160.

SANCHEZ, P. A.; UEHARA, G. Management considerations for acid soils with high P fixation capacity. In: KHAAASAAWNEH, F. E.; SAMPLE, E. C.; KAMPRATH, E. J. (Ed.). **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1980. p. 471-514.

SCHMIDT, J. P.; BUOL, S. W.; KAMPRATH, E. J. Soil phosphorus dynamics during 17 years of continuous cultivation: a method to estimate long-term P availability. **Geoderma**, Amsterdam, v. 78, n. 1/2, p. 59-70, July 1997.

SMILEY, R. W. Rhizosphere Ph as influenced by plants, soils, and nitrogen fertilizers. **Soil Science Society of America Proceeding**, Madison, v. 38, n. 5, p. 795-801, Sept./Oct. 1974.

SIQUEIRA, J. O. Micorizas Arbusculares In: ARAUJO, R. S.; HUNGRIA, M. (Ed.). **Microrganismos de importância Agrícola**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. p. 151-194.

SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. **Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas**. Brasília: MEC; Lavras: ESAL, FAEPE, 1988. 266p.

STEWART, J. W. B.; HEDLEY, J. M.; CHAUHAN, B. S. The immobilization, mineralization and redistribution of phosphorus in soils. In: WESTERN CANADA PHOSPHATE SYMPOSIUM, 1980, Alberta. **Proceedings...** Alberta: SSSA, 1980. p. 276-306.

STEWART, J. W. B.; TIESSEN, H. Dynamics of soil organic phosphorus. **Biogeochemistry**, Baltimore, v. 4, n. 1, p. 41-60, 1987.

SYERS, J. K.; SHAH, R.; WALKER, T. W. Fractionation of phosphorus in two alluvial soils and particle size separate. **Soil Science**, Baltimore, v. 108, n. 4, p. 283-289, Oct. 1969.

SYERS, J. K.; SMILLIE, G. W.; WILLIAMS, J. D. H. Calcium fluoride formation during extraction of calcareous soils with fluoride: I. Implications to inorganic P fractionation schemes. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 36, n. 1, p. 20-25, Jan./Feb. 1972.

TATE, K. R.; SALCEDO, I. H. Phosphorus control of soil organic matter accumulation and cycling. **Biogeochemistry**, Baltimore, v. 5, n. 1, p. 99-107, 1988.

TIESSEN, H.; SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, V. S. B. Nutrient and soil organic matter dynamics under shifting cultivation in semi-arid northeastern Brazil. **Agriculture Ecosystems Environment**, Amsterdam, v. 38, n. 3, p. 139-151, Feb. 1992.

TIESSEN, H.; STEWART, J. W. B.; COLE, C. V. Pathways of phosphorus transformations in soils of differing pedogenesis. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 48, n. 4, p. 853-858, July/Aug. 1984.

TOKURA, A. M. **Formas de fósforo em diferentes solos sob plantio direto em comparação a áreas adjacentes não cultivadas**. 2001. 55 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

WILLIAMS, J. D. H.; MAYERS, T.; NRIAGU, J. O. Extractability of phosphorus from phosphate minerals common in soils and sediments. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n. 3, p. 462-465, May/June 1980.

WILLIAMS, J. D. H.; SYERS, J. K.; HARRIS, R. F.; ARMSTRONG, D. E. Fractionation of inorganic phosphate in calcareous lake sediments. **Soil Science Society of American Proceedings**, Madison, v. 35, n. 2, p. 250-255, Mar./Apr. 1971.

WRIGHT, C. J.; COLEMAN, D. C. The effects of disturbance events on labile phosphorus fractions and total organic phosphorus in the southern appalachians. **Soil Science**, Baltimore, v. 164, n. 6, p. 391-402, June 1999.

YAOBING, S.; THOMPSON, M. L. Phosphorus sorption, desorption, and buffering capacity in a biosolids-amended mollisol. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 64, n. 1, p. 164-169, Jan./Feb. 2000.