

**FRAÇÕES DE FÓSFORO E PRODUÇÃO DA
SOJA E DO FEIJOEIRO EM SUCESSÃO A
GRAMÍNEAS ADUBADAS COM DIFERENTES
FERTILIZANTES FOSFATADOS**

CARLOS RIBEIRO RODRIGUES

2006

CARLOS RIBEIRO RODRIGUES

**FRAÇÕES DE FÓSFORO E PRODUÇÃO DA SOJA E DO FEIJOEIRO
EM SUCESSÃO A GRAMÍNEAS ADUBADAS COM DIFERENTES
FERTILIZANTES FOSFATADOS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas para a obtenção do título de "Doutor".

Orientador
Prof. Valdemar Faquin

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2006

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

Rodrigues , Carlos Ribeiro

Frações de fósforo e produção da soja e do feijoeiro em sucessão a gramíneas adubadas com diferentes fertilizantes fosfatados / Carlos Ribeiro Rodrigues. -- Lavras : UFLA, 2006.

113p. : il.

Orientador: Valdemar Faquin

Tese (Doutorado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Frações de fósforo. 2. Braquiária. 3. Braquiaraão. 4. Sorgo. Milheto. 6. Soja. 7. Feijoeiro. 8. Adubação fosfatada. 9. Integração lavoura-pecuária I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-633.34895

CARLOS RIBEIRO RODRIGUES

**FRAÇÕES DE FÓSFORO E PRODUÇÃO DA SOJA E DO FEIJOEIRO
EM SUCESSÃO A GRAMÍNEAS ADUBADAS COM DIFERENTES
FERTILIZANTES FOSFATADOS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas para a obtenção do título de "Doutor".

APROVADA em 31 de dezembro de 2005

Prof. Carlos Alberto Silva – DCS/UFLA

Prof. Luiz Roberto Guimarães Guilherme – DCS/UFLA

Prof. Luiz Arnaldo Fernandes – NCA/UFMG

Prof. Ivo Ribeiro da Silva – UFV

Prof. Valdemar Faquin
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

DEDICO,

Primeiramente a DEUS, pois Ele é meu pastor e nada tem me faltado.

Dedico especialmente, à minha companheira de vida Tatiana Michlovská Rodrigues e minha filha Anna Michlovská Ribeiro Rodrigues.

A meus Pais, Ana Isabel Ribeiro Rodrigues e Carlos Roberto Alves Rodrigues, pelos ensinamentos de vida e apoio. À minha irmã pelas palavras amigas e ajuda nos momentos difíceis e ao meu irmão pela amizade.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de doutorado.

Ao Prof. Carlos Alberto Silva pela co-orientação, e aos demais professores, Luiz Roberto Guimarães, Luiz Arnaldo e Ivo Ribeiro da Silva, como participantes da banca de defesa da tese.

Um agradecimento especial à Secretária do DCS, Maria Alice, pelo empenho para que eu não perdesse a vaga do mestrado. Ao Laboratorista Roberto e aos demais funcionários que, de forma direta ou indireta, ajudaram na realização deste trabalho e pelo convívio agradável durante minha passagem pelo DCS/UFLA.

Aos amigos Daniel Trevisan, Rafaela A. Nóbrega, Vanessa Brito, Orlando C. Neves, Felipe Campos Figueiredo e Antônio C. de O. Júnior pela ajuda e pelos bons momentos, nos quais dividimos sorrisos e pelos maus, em que nos ajudamos. Ao amigo de graduação, pós-graduação e de vida Ivoney Gontijo pelo companheirismo. Estendendo meus agradecimentos a todos os colegas de pós-graduação do DCS/UFLA.

Aos colegas de trabalho Eliezer A. Baeta de Oliveira, Danielle P. Baliza e Fabrício W. Ávila, pela ajuda e empenho durante a realização dos experimentos.

Agradeço, também, à Associação dos Pós-Graduandos da UFLA, pela oportunidade e aos coordenadores das gestões 2003/2004 e 2004/2005 pela amizade e companheirismo.

SUMÁRIO

Resumo Geral.....	i
General Abstract.....	iii
1 Introdução Geral.....	01
2 Referências Bibliográficas.....	06
CAPÍTULO I: Crescimento e nutrição fosfatada de diferentes forrageiras de cobertura adubadas com superfosfato triplo e fosfato reativo de arad.....	
Resumo.....	10
Abstract.....	11
1 Introdução.....	12
2 Material e Métodos	13
3 Resultados e Discussão.....	16
4 Conclusões.....	22
5 Referências Bibliográficas.....	27
CAPÍTULO II: Frações de fósforo em solos submetidos ao cultivo de forrageiras de cobertura adubadas com diferentes fertilizantes fosfatados.....	
Resumo.....	39
Abstract.....	40
1 Introdução.....	41
2 Material e Métodos	42
3 Resultados e Discussão.....	46
3.1 Frações de P inorgânico lábil, pouco lábil e não lábil.....	52
3.2 Frações de P orgânico lábil e pouco lábil.....	52
3.3 P residual.....	64
4 Conclusões.....	69

5 Referências Bibliográficas.....	74
CAPÍTULO III: Crescimento e acúmulo de fósforo pela soja e feijoeiro cultivados em sucessão a diferentes gramíneas forrageiras adubadas com super fosfato triplo e fosfato reativo de arad.....	80
Resumo.....	81
Abstract.....	82
1 Introdução.....	83
2 Material e Métodos.....	86
3 Resultados e Discussão.....	92
3.1 Crescimento, produção e acúmulo de P pela soja.....	92
3.2 Crescimneto, produção e acúmulo de P pelo feijoeiro.....	99
4 Conclusões.....	108
5 Referências Bibliográficas.....	109
ANEXOS.....	113

RESUMO GERAL

RODRIGUES, Carlos Ribeiro. **Frações de fósforo e produção da soja e do feijoeiro em sucessão a gramíneas adubadas com diferentes fertilizantes fosfatados.** 2005. 113p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, MG.¹

O presente trabalho objetivou avaliar (i) o crescimento e o acúmulo de P por gramíneas forrageiras de cobertura, adubadas com superfosfato triplo e fosfato reativo de arad; (ii) a alteração das frações de fósforo do solo, após o cultivo das gramíneas forrageiras adubadas com diferentes fertilizantes fosfatados e (iii) o crescimento e o acúmulo de P pela soja e feijoeiro cultivados em sucessão às gramíneas adubadas com superfosfato triplo e fosfato reativo de arad. Foram realizados dois experimentos em vasos de cinco dm³ de capacidade, contendo quatro dm³ de solo, sendo um experimento em Cambissolo Háplico tb distrófico típico textura média e outro em Latossolo Vermelho distrófico típico textura muito argilosa. Os experimentos foram realizados em duas etapas. Na primeira etapa as gramíneas forrageiras foram cultivadas nos vasos com a aplicação dos dois fertilizantes fosfatados. Na segunda etapa, após o corte das forrageiras e deposição da palha na superfície dos vasos foram cultivadas a soja e o feijoeiro. Para a avaliação do acúmulo de P e crescimento das forrageiras foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 2, sendo quatro forrageiras (*Braquiária decumbens*, *Braquiária brizanta*, milho e sorgo forrageiro) e duas fontes de P (Super Fosfato Triplo – SFT e Fosfato Reativo de Arad – FRA). Para a avaliação do acúmulo de P nos grãos e na parte aérea, crescimento e produção da soja e feijoeiro o delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 2 + 2, sendo os quatro tratamentos de cobertura dos solos, representadas pelo cultivo prévio das quatro forrageiras (*Braquiária decumbens*, *Braquiária brizanta*, milho e sorgo forrageiro), duas fontes de P (SFT e FRA) e mais dois tratamentos adicionais. Os tratamentos adicionais foram representados pelos dois solos adubados com as fontes de P, na mesma época dos tratamentos com as gramíneas de cobertura, mas que não foram cultivados, permanecendo, portanto, em pousio durante o cultivo prévio das gramíneas forrageiras. Os resultados mostraram que tanto no Latossolo quanto no Cambissolo o milho e o sorgo apresentaram maior crescimento e acúmulo de P quando adubados com o SFT. O crescimento e o

¹ Comitê Orientador: Prof. Valdemar Faquin – DCS/UFLA (Orientador), Carlos Alberto Silva – DCS/UFLA (Co-orientador)

acúmulo de P pelas plantas do gênero *Brachiaria* não diferiram em função da fonte de P aplicada. Assim, quando as forrageiras foram adubadas com o FRA, a braquiária e o braquiarão apresentaram maior eficiência relativa de crescimento de parte aérea e acúmulo de P. Para as frações de P o cultivo das forrageiras de cobertura adubadas com o SFT proporcionou maior acúmulo das frações P inorgânico e orgânico lábeis e pouco lábeis (P-resina, Pi-bic, Po-bic, Pi-hid e Po-hid). Com a aplicação do FRA, após o cultivo das forrageiras foram obtidos os maiores teores das frações de P ligado ao Ca (P-HCl) e P-residual. As forrageiras de cobertura influenciaram as formas de P do solo, em função do potencial de acúmulo de P de cada planta e das características químicas e mineralógicas dos solos. As forrageiras imobilizaram o P do SFT, reduzindo o efeito residual para a soja e o feijoeiro. Quando as gramíneas forrageiras foram adubadas com o FRA, houve um aumento do efeito residual, com aumento da produção da soja e do feijoeiro com exceção para o cultivo em sucessão ao braquiarão.

GENERAL ABSTRACT

RODRIGUES, Carlos Ribeiro. **Phosphorus fractions and soybean and bean yield in succession to grass fertilizer with different phosphorus source**. 2005. 113p. Thesis (Doctorate in soils and plant nutrition) – Federal University of Lavras, MG¹.

The present work was carried out to evaluate: (1) the growth and P accumulation in cover forage grasses fertilized with triple superphosphate and reactive arad phosphate; (ii) the changes in the soil phosphorus fractions after cultivation of the forage grasses and P accumulation by soybean and bean plants grown in succession to the grasses fertilized with triple superphosphate and reactive arad phosphate. Two experiments were carried out using Inceptisol (*Cambisol*) and Oxisol (*Latosol*) samples. The experiments were performed in two phases; Firstly, the forage grasses were grown in pots with two phosphorus fertilizers sources. Secondly, after the cutting of the forages and deposition of straw on the surface of the pots, both soybean and bean plant were cultivated. For the evaluation of P accumulation and forage plants growth, a completely randomized design was utilized in a 2 x 4 factorial scheme, and the treatments consisted of a combination of four forage plants (*Brachiaria decumbens*, *Brachiaria brizanta*, millet and forage sorghum) with two sources of P (triple superphosphate –SFT and Reactive Arad phosphate - FRA). For evaluation of P accumulation in grains and shoot, growth and yield of soybean and bean plants, the design utilized was a completely randomized in a 4 x 2 + 2 factorial scheme; the four treatments of soil cover were represented by the previous cultivation of the four forage plants (*Brachiaria decumbens*, *Brachiaria brizanta*, millet and forage sorghum), two sources of P (SFT and FRA) and further two additional treatments, represented by the two soils fertilized with the sources of P at the same time of the treatments with the cover grasses but ungrown with bean and soybean, remaining, therefore, in fallow during the previous cultivation of the forage grasses. The results showed that in both soils the millet and sorghum presented the highest growth and P accumulation when fertilized with SFT. The growth and P accumulation for the *Brachiaria* plants were not affected by the applied P sources. When the forages were fertilized with FRA, the *Brachiaria decumbens* and *Brachiaria brizantha* presented larger relative efficiency of growth and P accumulation. For the fractions of P, the growing of cover forage

¹Guidance Committee: Prof. Valdemar Faquim – DCS/UFLA (adviser), Carlos Alberto Silva –DCS/UFLA (Co-adviser)

plants with SFT provided greater accumulation of P in fractions of inorganic and organic, labile and little labile P (P-resin, Pi-bic, Po-bic, Pi-hid and Po-hid). When FRA was applied after the growing of the forage plants, the highest contents of the fraction of Ca-linked P (P-HCL) and residual-P were verified. The cover forage plants influenced the forms of P which were dependent on the potential of P accumulation in each plant and the chemical and mineralogical characteristics of the soils. The forage plants immobilized the SFT-P, reducing its residual effect to soybean and bean plants. When the forage grasses were fertilized with FRA, there was an increase of the residual effect of P-fertilizer, with increased soybean and bean yield in succession to cover plants; the exception to this was the legumes grown in succession to *Brachiaria brizantha*.

1 INTRODUÇÃO GERAL

O fósforo (P) é o nutriente que mais limita a produção vegetal em regiões de solos tropicais e subtropicais (Raij, 1991; Novais & Smyth, 1999). Devido à grande quantidade de sítios de adsorção, ricos em óxidos de Fe e Al e com pH baixo, esses solos tornam-se fortes drenos para o ânion fosfato, competindo com a planta pelo nutriente (Novais & Smyth, 1999).

A dinâmica do P nesses solos é complexa e vários fatores podem influenciar em sua transformação. O P no solo ocorre sob diferentes formas e o equilíbrio entre estas, está diretamente envolvida com a adição e remoção desse nutriente no sistema. O P adicionado via fertilizantes transforma-se, inicialmente, em “P lábil” e com o tempo passa para formas “não lábil”, tornando-se indisponível para as plantas. O P do solo encontra-se em três diferentes formas: P em solução, menor que $0,1 \text{ mg dm}^{-3}$, predominantemente na forma de H_2PO_4^- nos solos da região do cerrado; precipitado ou adsorvido aos colóides do solo e em equilíbrio com a solução do solo (P-lábil); sob formas de compostos de baixa solubilidade (precipitado) ou adsorvido às partículas do solo, não estando em equilíbrio imediato com a solução do solo (P-não lábil), sendo essas formas denominadas normalmente como “fósforo fixado” (Larsen, 1967; Raij, 1991; Novais & Smyth, 1999). 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 forma “lábeis” muito lentamente. Em geral, quanto maior a acidez, o teor de argila e, principalmente, quanto maior a concentração de óxidos de Fe e Al na fração argila, mais intenso é o processo de fixação do P nos solos dos trópicos (Malavolta, 1981; Lopes, 1983; Raij, 1991; Novais & Smyth, 1999). O P também pode passar a fazer parte de compostos orgânicos, que por mineralização acrescenta fosfatos inorgânicos

ao sistema (Muniz, 1995). O P orgânico ocorre em teores proporcionais ao conteúdo de matéria orgânica do solo. As principais formas de P orgânico no solo são: o hexa fosfato de inositol; fosfolipídios e nucleotídeos, que são facilmente mineralizáveis. O P orgânico pode compreender 3 a 90% do P total do solo e variar de 1 a 3% da matéria orgânica. Nos solos minerais, essa 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 (Moreira & Siqueira, 2002).

Com finalidade de melhorar a eficiência das adubações com P, Goedert & Sousa (1986) definiram algumas estratégias, tais como: a minimização do poder de imobilização de P pelo solo, antes da aplicação do fosfato; determinação da melhor dose e do modo mais adequado de aplicação e incorporação; utilização de plantas mais eficientes na absorção e aproveitamento de P; desenvolvimento de tecnologia que permita aproveitar melhor as fontes de P disponíveis; maximização das interações positivas existentes entre adubação fosfatada e outras práticas agrícolas e combinação dos fatores de produção, visando ter o máximo de produção por unidade de P aplicado ao solo. A eficiência agrônômica dos adubos fosfatados pode ser afetada pelas fontes de fosfato, propriedades do solo, modos de aplicação e espécies vegetais (Chien & Menon, 1995).

Nesse sentido, no sistema de plantio direto (SPD) a planta de cultivo de inverno pode influenciar no aproveitamento do P acumulando-o, reduzindo a perda por precipitação, fixação e disponibilizando-o como P-orgânico (Po), após a deposição e decomposição da palhada e do sistema radicular. Com isso, pode-se obter uma nova filosofia para a prática da adubação em sistema de plantio direto. No sistema convencional, aduba-se a planta e, no SPD o objetivo é manter a fertilidade do sistema. Assim, uma parte do fertilizante pode ser aplicada em pré-plantio na cultura de cobertura, que será dessecada e retornará os nutrientes absorvidos para a cultura principal. A partir dessa nova sistemática,

vislumbra-se a possibilidade de uso de fontes de P menos solúveis e de menor custo, juntamente com plantas de cobertura eficientes na ciclagem e na absorção de P.

Em SPD ou mesmo em Integração Lavoura-Pecuária, o aumento da deposição de resíduos vegetais na superfície do solo e ausência de revolvimento resulta em complexas modificações na fertilidade do solo. Há um aumento considerável nos teores dos nutrientes, principalmente do P em superfície, devido à deposição de material vegetal (Menezes et al., 2002). Sendo que, as aplicações anuais de fertilizantes fosfatados, a liberação de P durante a decomposição dos resíduos vegetais e a redução da adsorção específica do P, em decorrência do menor contato do nutriente com os constituintes inorgânicos do solo, resultam na acumulação superficial desse nutriente em sistema de plantio direto (Muzilli, 1996; Sidiras & Pavan, 1985). Além disso, a decomposição dos resíduos vegetais liberam compostos orgânicos, que competem pelos mesmos sítios de adsorção do P, aumentando a disponibilidade para as plantas. Outro efeito é a capacidade desses compostos orgânicos em formarem complexos estáveis com alumínio e ferro, reduzindo a precipitação do P.

Atualmente, a adubação fosfatada em SPD é feita em superfície e com uso de fontes solúveis com: o Super Fosfato Triplo (SFT), Super Fosfato Simples (SFS) e Monoamônio Fosfato (MAP). Mais recentemente, têm sido avaliadas fontes reativas de P, como o Fosfato de Arad. Esses fosfatos, além de apresentarem custo inferior, apresentam no primeiro ano, resultados de produção semelhante aos obtidos com as fontes solúveis (Rajan et al., 1996; Raij, 1991; Novais & Smyth, 1999; Horowitz & Meurer, 2004).

O uso de plantas de cobertura eficientes em reciclar o P também vêm sendo estudadas, principalmente as espécies utilizadas como forrageiras, na região Sul do país, como: aveia-preta, mucuna preta, ervilhaca e tremoço. No entanto, Borket et al. (1999) demonstraram que nenhuma dessas plantas

apresentaram potencial para reciclagem do P. O uso do SPD em solos sob ecossistema cerrado foi possível, segundo Bernardi et al. (2003), a utilização de plantas de cobertura com alto potencial de produção de biomassa, como: o milheto, capim pé-de-galinha e, recentemente, com a maior divulgação e utilização do sistema Santa Fé e Integração Lavoura-Pecuária, o uso de plantas do gênero *Brachiaria*. No entanto, são raros os estudos que avaliam o efeito do cultivo dessas espécies sobre as frações de P do solo, a eficiência na reciclagem de P e, conseqüentemente, a disponibilidade desse nutriente para as culturas subseqüentes. Recentemente, Francisco (2002) e Seguatelli (2004) avaliaram a produtividade da soja em semeadura direta, com antecipação da adubação fosfatada na cultura de *Eleusine coracana* (L.) Gaertn. (Capim pé-de-galinha). Esses autores relatam que sob as condições em que foram instalados os experimentos, a adubação fosfatada antecipada, além de proporcionar maior produção de fitomassa da planta de cobertura, não alterou a produção de grãos da soja, o que beneficia o sistema implantado e não só a cultura de verão.

Recentemente, o uso da metodologia do fracionamento seqüencial do P no solo, segundo Hedley et al (1982), vem sendo utilizado para avaliar os diferentes manejos da adubação fosfatada ou mesmo de cultivo, sobre as frações de P do solo e a disponibilidade de P para as plantas, sob condições de solos tropicais e subtropicais (Ball-Coelho et al., 1993; Beck & Sanchez, 1994; Schmidt et al., 1996; Araújo & Salcedo, 1997; Rheinheimer et al., 2000; Rheinheimer & Anghinoni, 2001; Tokura et al., 2002; Andrade, 2005; Santos, 2005 e Souza, 2005). Pela metodologia de Hedley et al. (1982), modificada por Tokura et al. (2002), Andrade (2005), Santos (2005) e Souza (2005) são determinados: (1) o P-lábil, ou seja, o P disponível (P-resina), o P adsorvido à superfície dos colóides [(Pi+Po)-NaHCO₃] e o P microbiano [(Pi+Po)-NaHCO₃/CH₃Cl]; (2) formas pouco lábeis, compreendendo o P ligado a Fe e Al e o P orgânico ligado a compostos húmicos [(Pi+Po)-NaOH] e (3) formas não

lábeis, que incluem o P ligado ao Ca (P-HCl), que é considerado insolúvel, e as formas mais estáveis de Po e Pi (P-residual), determinados após a digestão com H_2SO_4 e H_2O_2 .

O efeito de resíduos vegetais sobre a dinâmica e distribuição das frações de P no solo é pouco conhecida e estudada na literatura internacional (Magid, 1993) e, segundo Rheinheimer & Anghinoni (2001), desconhecida para solos da região Sul do Brasil, região essa, que já possui histórico de pesquisa na área de solos e fertilidade. Estudos sobre o efeito de plantas de cobertura utilizadas em ecossistema sob cerrado, como o milheto e plantas do gênero *Brachiaria*, sobre a fertilidade do solo seria interessante, pois ainda nessa região, estão sendo realizados vários estudos para adequar o manejo da adubação das plantas nesse sistema.

Nesse sentido os objetivos do presente trabalho foram avaliar:

- o crescimento e o acúmulo de P por gramíneas forrageiras de cobertura adubadas com superfosfato triplo e fosfato reativo de arad;
- a alteração das frações de fósforo do solo após o cultivo das gramíneas forrageiras adubadas com diferentes fertilizantes fosfatados e
- o crescimento e o acúmulo de P pela soja e feijoeiro cultivados em sucessão às gramíneas adubadas com superfosfato triplo e fosfato reativo de arad

2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, A.T. **Dinâmica do fósforo em solos de várzea cultivados com feijoeiro sob influência da calagem e adubação orgânica.** Lavras, UFLA, 2005. 117p. (Tese de Doutorado).

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

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 American Journal**, Madison, v.57, n.4, p.1027-1034, July/Aug. 1993.

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

BERNARDI, A. C. C.; MACHADO, P. L. O. A.; FREITAS, P. L.; COELHO, M. R.; LEANDRO, W. M.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. P.; OLIVEIRA, R. P.; SANTOS, H. G.; MADARI, B. E.; CARVALHO, M. C. S. **Correção do solo e adubação no sistema de plantio direto nos cerrados.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 22 p. (Embrapa Solos. Documentos, 46).

BORKET, C.M.; GAUDÊNCIO, C.A.; PEREIRA, J.E.; OLIVEIRA JUNIOR, A. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea de culturas de cobertura de solo para semeadura direta com rotação de culturas (compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., Brasília, 1999. **Anais...** Brasília: SBCS, EMBRAPA, CPAC, 1999.

CHIEN, S.H. & MENON, R.G. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. **Fertilizer Research**, v.41, p.227-234, 1995.

FRANCISCO, E.A.B. **Antecipação da adubação da soja na cultura de *Eleusine coracana* (L.) Gaertn em sistema de plantio direto.** ESALQ, 2002.

58p Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

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. p.21-53.

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 American Journal**, Madison, v.46, n.5, p.970-976, Sep./Oct 1982.

LARSEN, S. Soil phosphorus. **Advances in Agronomy**, New York, v.19, p.151-211, 1967.

LOPES, A.S. **Solos sob “Cerrado”**: características, propriedades e manejo. Piracicaba: POTAFOS, 1983. 162p.

MAGID, J. Vegetation effects on phosphorus fractions in set-aside soils. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.149, n.1, p.111-119, 1993.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola**: adubos e adubação. 3.ed.. São Paulo: CERES, 1981, 596p.

MENEZES, L.A.; SOUTO JÚNIOR, M.L.; LEANDRO, W.M. Efeitos de coberturas verdes, com potencial de utilização em sistema de plantio direto, na variabilidade espacial de nutrientes no solo. In: FERTBIO, 2002, Rio de Janeiro-RJ. **Resumos...** Rio de Janeiro-RJ: UFRRJ, 2002. (CD-ROM).

MOREIRA, F.M. de S. & SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, 2002. 626p.

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. 146p Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas-SP, v.20, n.3, p.407-414, 1996.

NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa:UFV, 1999.399p.

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

RAJAN, S.S.S.; WATKINSON, J.H.; SINCLAIR, A.G. Phosphate rocks for direct applications to soils. **Advances in Agronomy**, v.57, p.77-159, 1996.

RHEINHEIMER, D.S. & ANGHINONI, I. Distribuição de P inorgânico em sistemas de manejo de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.1, p.150-160, jan. 2001.

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, v24, n.2, p.345-354, abr./jun. 2000.

ROBERTS, T.L. & STEWART, J.W.B. **Uptake of residual fertilizer phosphorus in western Canadian soils**. Saskatoon: University of Saskatchewan, 1987. p.1-15. (Publication, 523).

SANTOS, J.Z.L. **Frações de fósforo em solo da região do cerrado, adubados com fosfato em diferentes modos de aplicação e cultivado com milho**. Lavras, UFLA, 2005. 65p. (Dissertação de Mestrado).

SCHMIDT, J.P.; BUOL, S.W.; KAMPRATH, E.J. Soil phosphorus dynamics during seventeen years of continuous cultivations; fractionation analyses. **Soil Science Society of American Journal**, v.60, p.1168-1172, 1996.

SEGUATELLI, C.R. **Produtividade da soja em semeadura direta com antecipação da adubação fosfatada e potássica na cultura de *Eleusine coracana* (L.) Gaertn.** ESALQ, 2004. 58p Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

SIDIRAS, N. & PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo de solo no nível de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas-SP, v.9, p.249-224, 1985.

SOUZA, R.F. de. **Dinâmica de fósforo em solos sob influência da calagem e adubação orgânica, cultivados com feijoeiro**. Lavras, UFLA, 2005. 141p. (Tese de Doutorado).

TOKURA, A.M.; FURTINI NETO, A.E.; CURI, N.; FAQUIN, V.;
KURIHARA, C.H.; ALOVISI, A.A. Formas de fósforo em solo sob plantio
direto em razão da profundidade e tempo de cultivo. **Pesquisa Agropecuária
Brasileira**, v.37, n.10, p.1467-1476, out. 2002.

CAPÍTULO I

CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO FOSFATADA DE DIFERENTES FORRAGEIRAS DE COBERTURA ADUBADAS COM SUPER FOSFATO TRIPLO E FOSFATO REATIVO DE ARAD.

RESUMO

RODRIGUES, Carlos Ribeiro. Crescimento e nutrição fosfatada de diferentes forrageiras de cobertura adubadas com super fosfato triplo e fosfato reativo de arad. In: **Frações de fósforo e produção da soja e do feijoeiro em sucessão à gramíneas adubadas com diferentes fertilizantes fosfatados**. 2005 113p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, MG¹.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o crescimento e o acúmulo de P por gramíneas forrageiras de cobertura adubadas com super fosfato triplo e fosfato reativo de arad. Foram realizados dois experimentos, um em Cambissolo Háplico tb distrófico típico textura média e o outro em Latossolo Vermelho distrófico típico textura muito argilosa. Para os dois experimentos, um em cada solo, o delineamento foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 2, sendo quatro forrageiras (*Braquiaria decumbens* – B; *Braquiaria brizantha* – Bão; milheto cv. comum - M e sorgo forrageiro - S) e duas fontes de P (Super Fosfato Triplo – SFT e Fosfato Reativo de Arad – FRA), com quatro repetições. Foram avaliadas a produção de matéria seca de parte aérea (MSPA) e raiz (MSR), acúmulo de P na parte aérea e raiz, o rendimento percentual de parte aérea (RPPA) e raiz (RPR) e eficiência na aquisição de P do FRA (EAP). Os resultados mostraram que tanto no Latossolo quanto no Cambissolo o milheto e o sorgo apresentaram maior crescimento e acúmulo de P quando adubados com o SFT. O crescimento e o acúmulo de P pelas plantas do gênero *Brachiaria* não diferiram em função da fonte de P aplicada em ambos os solos. Assim, quando as forrageiras foram adubadas com o FRA, a braquiária e o braquiarão apresentaram maior eficiência relativa de crescimento de parte aérea e acúmulo de P.

¹Comitê Orientador: Prof. Valdemar Faquin – DCS/UFLA (Orientador), Carlos Alberto Silva – DCS/UFLA (Co-orientador)

ABSTRACT

RODRIGUES, Carlos Ribeiro. Growth and phosphorus nutrition of different cover forage plants fertilized with triple superphosphate and reactive arad phosphate. In ____ **Phosphorus fractions and soybean and bean yield in succession to grass fertilizer with different phosphorus source**. 2005. 113p. Thesis (Doctorate in soils and plant nutrition) – Federal University of Lavras, MG¹.

The objective of the present work was to evaluate the growth and P accumulation in cover forage grasses fertilized with triple super phosphate and reactive arad phosphate. Two experiments were carried out using Inceptsol (*Cambisol*) and Oxisol (*Latosol*) samples. For both experiments, one in each soil, the completely randomized design in a 4 x 2 factorial schemewere choosed; The treatments consisted of four forage plants (*Brachiaria decumbens* – B; *Brachiaria brizanta* - Bão; millet cv. common - M and forage sorghum – S) combined with two sources of P (triple superphosphate – SFT and reactive arad phosphate – FRA) and four replicates was used. The yield of shoot and root dry matter, P accumulation in the shoot and root, percent yield of shoot and root and efficacy in obtaining P from FRA were evaluated. The results showed that in both soils the millet and sorghum presented highest growth and P accumulation when fertilized with SFT. The growth and P accumulation for the *Brachiaria* plants were not affected by the applied P source. When the forages were fertilized with FRA, the *Brachiaria decumbens* and *Brachiaria brizantha* presented the largest relative efficiency of growth and P accumulation.

¹Guidance Committee: Prof. Valdemar Faquim – DCS/UFLA (adviser), Carlos Alberto Silva –DCS/UFLA (Co-adviser)

1 INTRODUÇÃO

O fósforo (P) é o nutriente que mais limita a produtividade na maioria dos solos das regiões tropicais, em função dos baixos teores naturalmente presentes nesses solos (Novais & Smyth, 1999). Esses solos possuem em sua constituição mineralógica caulinita e óxidos de Fe e Al, ou seja, minerais de carga variável que possuem um alto poder de adsorção específica do fosfato, principalmente os solos mais intemperizados como os Latossolos, sob condições de pH baixo. Como consequência, a maior parte do P no solo está na forma de compostos de baixa solubilidade não disponíveis para as plantas.

Desse modo, uma opção para melhorar o aproveitamento do fosfato aplicado via fertilizantes é diminuir, antes de sua aplicação, a capacidade do solo em fixar o fosfato. A diminuição da fixação de P pode ser obtida com calagem e pelo aumento da matéria orgânica, por meio de cobertura permanente. De maneira geral, os fatores que afetam a disponibilidade desse nutriente no solo são as quantidades adicionadas, o tempo e o volume de contato do fertilizante com o solo, o tipo e a quantidade de minerais presentes no solo e o pH do solo (Raij, 1991; Novais & Smyth, 1999, Goedert & Sousa, 1986).

Considerando que as fontes de P (rochas fosfáticas) são recursos naturais não renováveis, é essencial utilizá-los de forma eficiente. Com a prática das adubações, os teores no solo tendem a se elevar devido ao efeito residual. Assim, as práticas essenciais no manejo da adubação fosfatada e na economia desse nutriente são: análise de solo e recomendação de doses calculadas com base na sua interpretação, melhoria do volume de solo explorado pelas raízes através da calagem, redução do contato do fosfato com o solo, seja através do uso de adubos na forma granulada, seja pela incorporação de forma localizada nos sulcos ou covas de plantio (Raij, 1991). Em Sistema de Plantio Direto (SPD) e Integração Agricultura-Pecuária nos primeiros anos de estabelecimento as

fontes de P devem ser preferencialmente aquelas mais solúveis em água. Posteriormente, é possível utilizarem-se fontes de menor solubilidade em água, porém sua eficiência agronômica deve ser semelhante a fontes tradicionais como o superfosfato triplo ou superfosfato simples (FAO, 1998; Isherwood 1998; Sousa, 1997; Johnston, 2000). Nesses sistemas a adubação fosfatada, na maioria das vezes é adicionada em superfície sem revolvimento do solo, que aliado à deposição dos resíduos vegetais também na superfície, favorece sua ciclagem nessa camada do solo, diminuindo as perdas de P e determinando seu acúmulo na camada superficial (Muzilli, 1983). Nessa camada, sua sorção é menor causada pela saturação dos sítios de adsorção e pela diminuição da energia de ligação do fosfato com os colóides do solo, propiciando aumento do P em formas mais lábeis.

Outro ponto interessante do SPD e IAP é que a prática da adubação pode ser profundamente alterada em função da melhoria das condições físicas, químicas e biológicas e da introdução das culturas de cobertura, possibilitando uma ação sistêmica e não apenas pontual como no sistema convencional, ou seja, pode-se adubar todo o sistema de produção e não apenas a cultura principal individualmente. Assim, uma parte do fertilizante pode ser aplicada em pré-plantio na cultura de cobertura, que será dessecada e retornará os nutrientes absorvidos para a cultura principal. As vantagens desta prática poderão ser: diminuição da quantidade de adubos no sulco; menores perdas por lixiviação, precipitação e fixação e maior desenvolvimento vegetativo da cultura de cobertura.

A quantidade e a qualidade da palha sobre a superfície do solo dependem do sistema de rotação adotado e, em grande parte, do tipo de planta de cobertura e do manejo que lhe é dado (Landers, 2001). A maior produção das plantas de cobertura indica uma maior produção de palhada sobre o solo, podendo, também, dar uma idéia do potencial da planta de cobertura sobre a

reciclagem do nutriente, desde que se conheça o potencial de extração do nutriente pela planta (Alvarenga et al., 2001). Borket et al., (1999) avaliando o acúmulo de nutrientes por cinco espécies de plantas utilizadas como cobertura em SPD – ervilhaca, mucuna preta, tremoço, grandú e aveia preta – verificaram que nenhuma delas possuía alto potencial de reciclagem do P, apresentando uma média de 2,55 kg de P por tonelada de matéria seca. A maior parte dos trabalhos, objetivando avaliar plantas de cobertura, utiliza plantas adaptadas à região Sul do Brasil, onde se começou a utilizar o SPD no país. Pouco são os trabalhos avaliando as gramíneas forrageiras como: milheto, sorgo forrageiro e plantas do gênero *Brachiaria*, espécies estas, que segundo Bernardi et al. (2003) tornou viável o uso do SPD sob o cerrado. A introdução do milheto (*Pennisetum glaucum* L.R. Br. e *P. americanum* L.), sorgo forrageiro e, mais recentemente, gramíneas forrageiras (ex. *Brachiaria* spp.), possibilitaram a adequada formação de palhada (mulch), essencial para a sustentabilidade do SPD nos trópicos, principalmente em ecossistemas sob Cerrado (Spehar & Souza, 1996, Landers, 2001).

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o crescimento e o acúmulo de P por gramíneas forrageiras de cobertura adubadas, com super fosfato triplo e fosfato reativo de arad.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas amostras (0-20 cm) dos solos Cambissolo Háplico tb distrófico típico textura média e Latossolo Vermelho distrófico típico textura muito argilosa. O primeiro solo foi coletado no município de Nazareno-MG e o segundo no Campus da UFLA, Lavras-MG. Ambos os solos foram coletados sob vegetação natural sem cultivo prévio.

Foram realizados dois experimentos, um em cada solo, em vasos de cinco dm³ de capacidade contendo quatro dm³ de solo. As gramíneas forrageiras utilizadas como plantas de cobertura em sistema de plantio direto, foram cultivadas em casa-de-vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, Lavras/MG de 15/11/2004 a 15/01/2005 e adubadas com fontes de P de diferentes solubilidades.

Para os dois experimentos o delineamento estatístico foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 2, sendo quatro forrageiras (*Braquiaria decumbens* – Braquiária, *Braquiaria brizantha* – Braquiarão, milheto cv. comum e sorgo forrageiro) e duas fontes de P (Superfosfato Triplo – SFT e Fosfato Reativo de Arad – FRA), com quatro repetições.

As amostras dos solos foram secas ao ar e peneiradas em malha de quatro mm de abertura. Posteriormente, subamostras foram tomadas para caracterizações física, química e frações de P (Tabela 1). Com base nas análises químicas foi efetuada a calagem, incorporando o calcário em quatro dm³ de solo de cada vaso, visando elevar a saturação por bases à 50%. Foi utilizado o calcário dolomítico calcinado e micropulverizado, com 35% de CaO, 14% de MgO e PRNT = 100%.

TABELA 1 Atributos químicos e físicos e frações de P do Latossolo Vermelho distrófico típico e Cambissolo Háptico Tb distrófico típico antes da aplicação dos tratamentos¹.

Atributos	Latossolo	Cambissolo
pH H ₂ O (1:2,5)	4,7	5,4
P (mg dm ⁻³)	0,9	0,6
K (mg dm ⁻³)	20,0	20,0
Ca (cmol _c dm ⁻³)	0,6	0,7
Mg (cmol _c dm ⁻³)	0,2	0,2
Al (cmol _c dm ⁻³)	1,1	0,7
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	7,0	2,3
SB (cmol _c dm ⁻³)	0,9	1,0
(t) (cmol _c dm ⁻³)	2,0	1,7
(T) (cmol _c dm ⁻³)	7,9	3,3
V (%)	10,8	29,2
m (%)	56,0	42,0
MO (dag kg ⁻¹)	4,9	2,1
P-rem (mg dm ⁻³)	10,2	25,2
Areia (dag kg ⁻¹)	21,0	55,0
Silte (dag kg ⁻¹)	9,0	16,0
Argila (dag kg ⁻¹)	70,0	29,0
Classe Textural	Muita Argilosa	Média
SiO ₂ (g kg ⁻¹)	129,8	144,0
Al ₂ O ₃ (g kg ⁻¹)	319,1	155,0
Fe ₂ O ₃ (g kg ⁻¹)	171,8	23,0
TiO ₂ (g kg ⁻¹)	22,0	3,0
P ₂ O ₅ (g kg ⁻¹)	0,9	0,1
Ki (SiO ₂ /Al ₂ O ₃)	0,41	1,57
Kr	0,26	1,43
	Fracionamento ²	
P-resina (mg dm ⁻³) ³	3,1	1,9
Pi-bic (mg dm ⁻³)	87,9	5,9
Po-bic (mg dm ⁻³)	1,1	0,2
Pi-hid (mg dm ⁻³)	243,4	50,1
Po-hid (mg dm ⁻³)	909,6	537,9
P-HCl (mg dm ⁻³)	6,3	9,0
P-residual (mg dm ⁻³)	884,0	683,7
P-total (mg dm ⁻³)	2.135,4	1.288,6

¹P e K – Extrator Mehlich I; Ca, Mg e Al – Extrator KCl 1 mol L⁻¹; H+Al – Extrator SMP; SB – Soma de Bases; (t) – CTC efetiva; (T) – CTC potencial (a pH 7,0); V – saturação por bases; m – saturação por alumínio; P-rem – Fósforo remanescente; MO – oxidação Na₂Cr₂O₇ 0,67 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 5 mol L⁻¹ (Embrapa, 1999). Resultados da análise de ataque sulfúrico dos solos apresentados, para o Cambissolo, por Giarola (1994) e, para o Latossolo, (Souza, 2005).

² Extração sequencial segundo Hedley et al. (1982), modificado por Tokura et al (2002) e determinação segundo Murphy & Riley (1962). Extração sequencial com resina (P-resina); NaHCO₃ 0,1 mol L⁻¹ inorgânico (Pi-bic) e orgânico (Po-bic); NaOH 0,1 mol L⁻¹ + NaOH 0,5 mol L⁻¹ inorgânico (Pi-hid) e orgânico (Po-hid); HCl (P-HCl); H₂SO₄ + H₂O₂ (P-residual) e a somatória de todas as frações (P-total).

Após incubação dos solos por 20 dias, com umidade próxima à 60% do volume total de poros (VTP), as fontes de fósforo (SFT e FRA) foram incorporadas a quatro dm³ de solo dos vasos, nas doses de 150 e 250 mg dm⁻³ de P, para o Cambissolo e Latossolo, respectivamente, considerando o teor de P total das fontes (Tabela 2). Antes de ser incorporado aos solos, o SFT foi moído em granulometria aproximada ao FRA. Pretendeu-se para as duas fontes (SFT e FRA) aplicar doses de P menores que as adequadas recomendadas por Alvarez V. & Fonseca (1990), para ensaios em vasos, visando avaliar a capacidade das forrageiras de cobertura em aproveitar o P aplicado aos solos. Assim, o Latossolo sendo mais argiloso e com características mineralógicas mais favoráveis à adsorção específica de P, recebeu dose maior do nutriente. Juntamente com a adubação fosfatada foi efetuada uma adubação básica com 80 mg de N, 80 mg de K, 60 mg de S, 0,5 mg de B, 1,5 mg de Cu e 5 mg de Zn por dm³ de solo, sob a forma de solução nutritiva. Foram utilizadas as fontes p.a.: (NH₄)₂SO₄, KNO₃, NH₄NO₃, H₃BO₃, CuSO₄.5H₂O e ZnSO₄.7H₂O.

TABELA 2 Composição química e física dos fertilizantes fosfatados.

Fonte	P ₂ O ₅ total	P ₂ O ₅ solúvel			CaO	Granulometria
		Água	CNA+água	Cítrico ¹		
SFT	46,1	38,8	46,1	-	13,0	Granulado
FRA	33,1	-	-	9,4	37,0	Farelado

¹Ácido cítrico a 2% (1:100)

Após a aplicação dos tratamentos foram retiradas subamostras dos tratamentos nos dois solos, para análise química e das frações de P (Tabela 3).

TABELA 3 Atributos químicos e frações de P do Latossolo Vermelho distrófico típico e Cambissolo Háplico Tb distrófico típico após a aplicação dos tratamentos.

Atributos	Latossolo		Cambissolo	
	SFT	FRA	SFT	FRA
pH H ₂ O (1:2,5)	5,2	5,1	5,3	5,4
P (mg dm ⁻³)	30,9	108,0	45,9	96,9
K (mg dm ⁻³)	90	86	76,0	86
Ca (coml _c dm ⁻³)	2,9	2,9	1,3	1,6
Mg (coml _c dm ⁻³)	1,0	1,0	0,7	0,8
Al (coml _c dm ⁻³)	0,3	0,2	0,2	0,2
H+Al (coml _c dm ⁻³)	5,6	5,6	2,1	1,9
SB (coml _c dm ⁻³)	4,1	4,1	2,2	2,1
(t) (coml _c dm ⁻³)	4,3	4,3	2,4	2,3
(T) (coml _c dm ⁻³)	9,7	9,7	4,3	4,0
V (%)	42,4	42,4	51,0	52,7
m (%)	7,0	5,0	8,0	9
MO (dag kg ⁻¹)	4,8	4,8	2,2	0,9
P-rem (mg dm ⁻³)	10,9	9,7	26,8	25,2
P-resina (mg dm ⁻³)	76,2	58,1	87,4	53,2
	Fracionamento ¹			
P-resina (mg dm ⁻³)	87,6	76,0	77,8	52,7
Pi-bic (mg dm ⁻³)	34,5	7,5	40,9	6,6
Po-bic (mg dm ⁻³)	99,4	62,4	44,7	11,0
Pi-hid (mg dm ⁻³)	597,6	483,4	116,8	129,9
Po-hid (mg dm ⁻³)	846,3	797,9	545,3	544,1
P-HCl (mg dm ⁻³)	0,6	11,6	0,8	26,3
P-residual (mg dm ⁻³)	739,2	936,6	616,1	611,1
P-total (mg dm ⁻³)	2405,2	2375,3	1442,4	1381,8

P e K – Extrator Mehlich I; Ca, Mg e Al – Extrator KCl 1mol L⁻¹ H+Al – Extrator SMP; SB – Soma de Bases; (t) – CTC efetiva; (T) – CTC potencial (a pH 7,0); V – saturação por bases; m – saturação por alumínio; P-rem – Fósforo remanescente; MO – oxidação Na₂Cr₂O₇ 0,67 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 5 mol L⁻¹ (Embrapa, 1999).

² Extração sequencial segundo Hedley et al. (1982), modificado por Tokura et al (2002) e determinação segundo Murphy & Riley (1962). Extração sequencial com resina (P-resina); NaHCO₃ 0,1 mol L⁻¹ inorgânico (Pi-bic) e orgânico (Po-bic); NaOH 0,1 mol L⁻¹ + NaOH 0,5 mol L⁻¹ inorgânico (Pi-hid) e orgânico (Po-hid); HCl (P-HCl); H₂SO₄ + H₂O₂ (P-residual) e a somatória de todas as frações (P-total).

Os solos com os tratamentos foram acondicionados nos vasos e, em seguida, semeadas 10 sementes por vaso de cada forrageira e desbastadas para quatro plântulas uma semana após emergência. Durante o cultivo, as forrageiras receberam adubações nitrogenada e potássica em cobertura, aplicando-se 400 mg dm⁻³ de cada nutriente, para a *B. brizantha* e *B. decumbens* e 500 mg dm⁻³ de cada nutriente para o sorgo e milho parceladas em sete aplicações. A umidade do solo foi mantida a 60% do VTP, por meio da pesagem dos vasos e adição de água deionizada.

As forrageiras de cobertura foram cultivadas até o pré-florescimento, quando a parte aérea foi cortada a dois cm da superfície do solo. Em seguida foi retirado o sistema radicular, lavado em água corrente e após lavadas com água destilada para posterior secagem. A parte aérea e raízes foram secas em estufa a 65-70°C, para a obtenção do peso de matéria seca (MSPA) e raízes (MSR) e análise química de P, segundo Malavolta et al. (1997).

Com o objetivo de avaliar a resposta das gramíneas forrageiras à aplicação da mesma dose de P do FRA em relação ao SFT foi determinado o rendimento relativo de produção de matéria seca de parte aérea (RRPA) e raízes (RRR) de cada espécie (Equações 1 e 2):

$$\text{RRPA} = (\text{MSPA FRA} / \text{MSPA SFT}) \times 100 \quad (1)$$

$$\text{RRR} = (\text{MSR FRA} / \text{MSR SFT}) \times 100 \quad (2)$$

Na parte aérea e nas raízes das forrageiras foram realizadas análise química para P, por meio da digestão nítrico-perclórica, seguida por leitura colorimétrica da concentração do P no extrato, de acordo com Malavolta et al. (1997). Relacionando-se os teores de P com a matéria seca produzida, foram determinados o acúmulo de P nas partes das forrageiras. Foi determinada, também, a eficiência de aquisição de P (EAP) (Equação 3) na parte aérea mais nas raízes das forrageiras quando adubadas com FRA em relação ao SFT:

$$\text{EAP} = (\text{Acúmulo de P do FRA} / \text{Acúmulo de P do SFT}) \times 100 \quad (3)$$

Os dados experimentais: matéria seca e rendimento percentual de matéria seca da parte aérea e raízes das forrageiras e acúmulo de P na parte aérea e raízes das forrageiras foram submetidos à análise de variância e testes de média com auxílio do programa estatístico SISVAR[®]. As médias dos tratamentos componentes do fatorial foram comparadas entre si, pelo teste de Scott Knott ($P \leq 0,05$).

Para a realização das análises de variância e testes de média dos dados em percentagem foi utilizada a transformação Arcosen $\sqrt{x/100}$ (Banzatto & Kronka, 1992).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As fontes de variação planta de cobertura, fonte de P e a interação entre estas influenciaram significativamente a produção de matéria seca de parte aérea (MSPA), raiz (MSR) e acúmulo de P na parte aérea e raiz das forrageiras em ambos os solos, com exceção do acúmulo de P na raiz, que não variou significativamente com a interação entre as fontes de variação no cambissolo (Tabela 1A e 2A). Os dados de RPPA, RPR e EAP foram influenciados significativamente pela cultura de cobertura em ambos os solos estudados (Tabela 3A).

Para os dados de MSPA, no Latossolo não foi observada variação significativa da MSPA da Braquiária, do Braquiaraço e do Milheto em função da fonte de P aplicada. Já o Sorgo apresentou a maior MSPA, quando adubado com o SFT (Figura 1 a). No Latossolo, quando aplicado o FRA, o braquiaraço e o sorgo apresentaram a maior MSPA, e quando aplicado o SFT, somente o sorgo apresentou a maior MSPA (Figura 1 a).

No Cambissolo todas as plantas apresentaram redução da MSPA quando adubadas com o FRA em relação ao SFT (Figura 1 b). Quando aplicado o FRA, o braquiaraço e o sorgo apresentaram o maior e a menor MSPA, respectivamente e, quando aplicado o SFT, a MSPA pelo braquiaraço, sorgo e milheto não diferiu entre essas e foi superior ao obtido pela braquiária (Figura 1 b).

Para os dados de MSR observa-se, no Latossolo, que o braquiaraço e o sorgo apresentaram redução do crescimento quando adubados com o FRA (Figura 1 c). A braquiária não obteve variação da MSR com a fonte de P aplicada e o milheto apresentou a maior MSR quando aplicado o FRA (Figura 1 c).

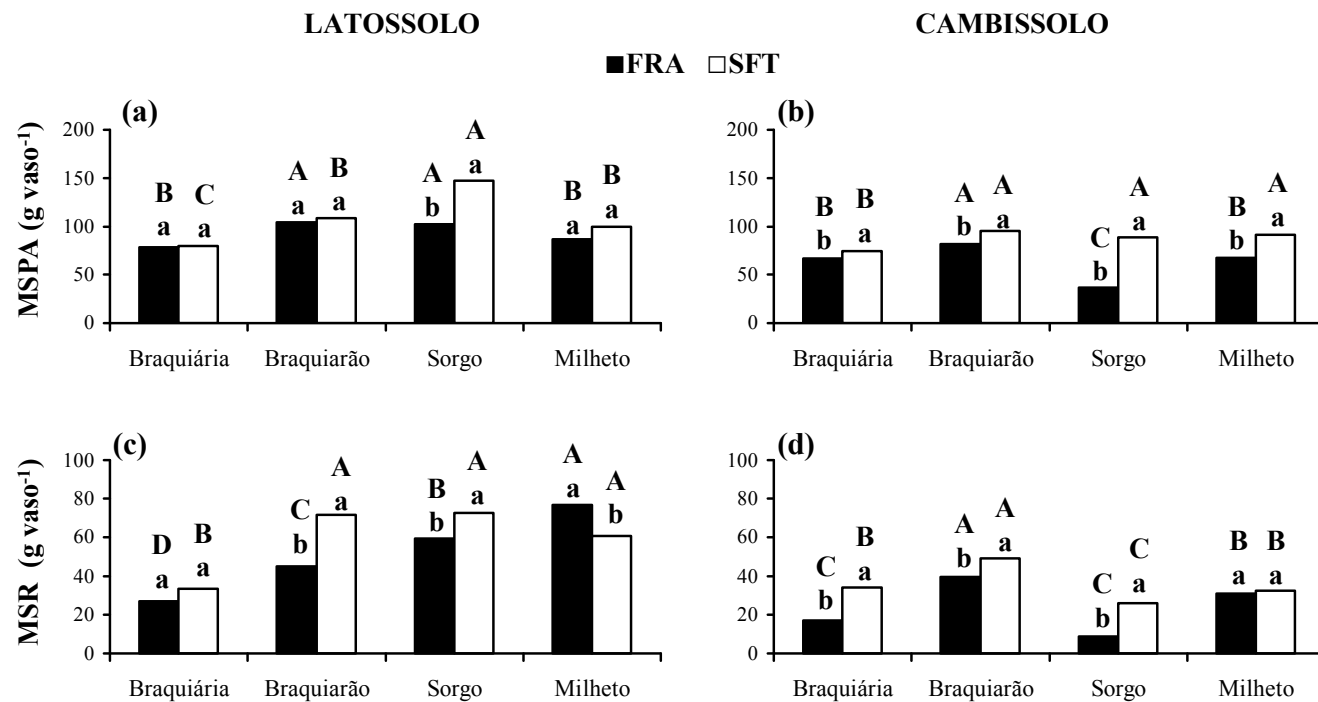


FIGURA 1 Matéria seca de parte aérea (MSPA) (a e b) e de raiz (MSR) (c e d) da Braquiária, do Braquiarão, do Sorgo e do Milheto, adubadas com SFT e FRA no Latossoilo e no Cambissoilo. Em cada solo, médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando as fontes de P para cada gramínea forrageira, e maiúscula, comparando as gramíneas forrageiras em cada fonte de P, não diferem entre si (Scott Knott 5%).

No Latossolo que quando aplicado o FRA o milho apresentou maior MSR e quando aplicado o SFT o braquiário, o milho e o sorgo apresentaram os maiores valores de MSR (Figura 1 c).

No Cambissolo observa-se que a braquiária, o braquiário e o sorgo reduziram significativamente a MSR quando adubadas com o FRA e o milho não apresentou variação significativa da MSR entre as fontes de P aplicadas (Figura 1 d). Em ambas as fontes de P aplicadas no Cambissolo o braquiário apresentou a maior MSR (Figura 1 d).

De maneira geral, em ambos os solos, quando aplicado o SFT o braquiário apresentou produção de biomassa de parte aérea semelhante ao milho e sorgo, e quando aplicado o FRA a MSPA do braquiário foi superior às demais forrageiras (Figura 1 a e b). Para a MSR, observa-se que o braquiário obteve valores superiores às demais forrageiras, tanto adubadas com o SFT quanto com o FRA (Figura 1 c e d). Isso demonstra, provavelmente, maior eficiência do braquiário em produção de biomassa de parte aérea e raiz em relação às demais forrageiras. Um dos principais efeitos benéficos das plantas de cobertura em sistema integração lavoura-pecuária, ou mesmo em SPD, é além da produção de biomassa de parte aérea que servirá de palhada para proteção do solo, também a produção de biomassa de sistema radicular (Bernardi et al., 2003). A maior exploração do volume do solo pelas raízes das plantas pode favorecer melhor estruturação do solo e também maior volume de solo rizosférico, melhorando a distribuição da matéria orgânica e dos nutrientes e favorecendo maior atividade biológica do solo (Moreira & Siqueira, 2002).

Vários trabalhos de campo realizados pela Embrapa Arroz e Feijão e pela Fundação Mato Grosso do Sul tem demonstrados efeitos benéficos do cultivo prévio do braquiário sobre a produção das plantas de safra, como a soja e o feijoeiro (Broch, 1997; Broch et al., 1997; Pitol et al., 2001; Kluthcouski & Stone, 2003). Esses autores relatam que o principal efeito benéfico do cultivo do

braquiarião sobre as propriedades químicas e físicas do solo e conseqüentemente sobre a produção da cultura de safra é a maior área de solo explorada pelas raízes do braquiarião.

Foram determinados os rendimentos relativos de matéria seca de parte aérea (RRPA) e de raiz (RRR), considerando a produção das plantas adubadas com o SFT como padrão para comparação com a produção das plantas adubadas com o FRA. Nesse sentido o RRPA e RRR refletem, em percentagem, a resposta das gramíneas à aplicação da mesma dose de P do FRA em relação ao SFT, em cada solo. A Figura 2 a mostra que o sorgo, em ambos os solos, foi a gramínea que menos respondeu em produção de MSPA à aplicação do FRA em relação ao SFT. As demais forrageiras apresentaram uma resposta relativa acima de 85%, à exceção do milho no Cambissolo, que obteve redução de 27% da MSPA com o uso do FRA.

Para as raízes o RRR mostrou que o braquiarião no Latossolo e a braquiária e o sorgo no Cambissolo, foram as forrageiras que apresentaram menor resposta percentual e o milho em ambos os solos o maior rendimento relativo quando adubadas com o FRA (Figura 2 b).

Se a baixa disponibilidade de P, conseqüente do uso da fonte de P de baixa solubilidade (FRA), proporcionasse aumento da produção de raízes, como resposta fisiológica à deficiência de P, como relatado por vários autores (Lajtha & Harrison, 1995; Marschner, 1995), esperaria, também, no Cambissolo aumento da MSR do milho, como observado no Latossolo (Figura 1b). O aumento da MSR do milho no Latossolo quando aplicado o FRA pode estar relacionado a outros fatores, como maior solubilização do FRA no Latossolo, com conseqüente aumento da disponibilidade de P e Ca.

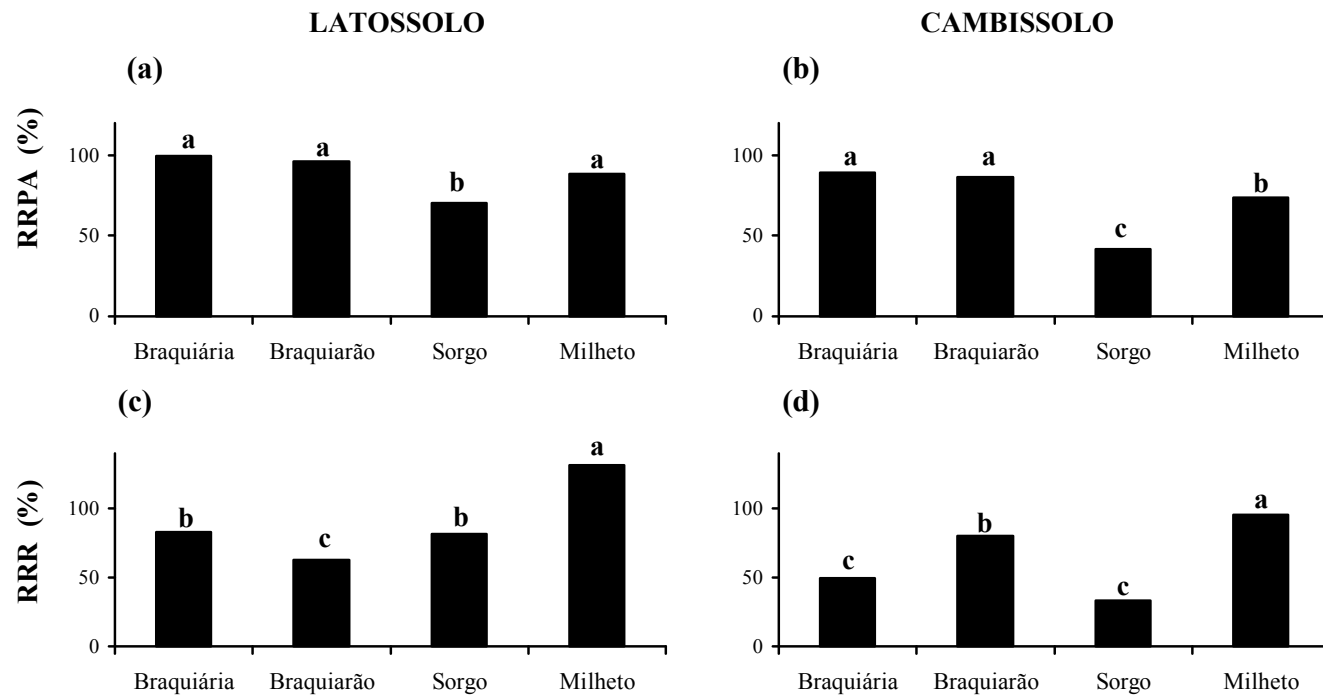


FIGURA 2 Rendimento relativo de parte aérea (RRPA) (a e b) e de raiz (RPR) (c e d) das forrageiras adubadas com FRA em relação ao SFT, no Latossolo e no Cambissolo. Em cada solo, médias seguidas de mesma letra não diferem entre si.

De maneira geral, as plantas apresentaram melhor resposta em crescimento, RRP e RRR, quando cultivadas no Latossolo (Figura 2 a, b, c e d). Na Tabela 3, observa-se que a disponibilidade de P, determinado tanto pelo extrator Mehlich I quanto pelo método da Resina, não apresentou grande variação entre os solos quando aplicada a mesma fonte de P. Com isso pode-se afirmar que as doses de P aplicadas nos solos, mesmo sendo maior para o Latossolo (250 mg dm^{-3} de P) e menor para o Cambissolo (150 mg dm^{-3} de P), não diferem quanto à disponibilidade do nutriente para as plantas. Isso pode ser atribuído à maior adsorção específica do P no Latossolo, em função dos seus maiores teores de óxidos de Fe e Al (Tabela 1). Assim, a maior resposta das plantas em crescimento no Latossolo, em relação ao Cambissolo não está relacionada com a diferença das doses de P aplicada para cada solo.

Devido à maior CTC potencial (CTC dependente de pH) no Latossolo em relação ao Cambissolo, esse primeiro solo pode ser considerado um dreno mais forte de Ca e, provavelmente, reduzindo a concentração de Ca nas vizinhanças das partículas do fertilizante. Assim, o equilíbrio da equação de dissolução do fosfato natural aplicado é alterado, aumentando sua dissolução e, conseqüentemente, aumentando a disponibilidade de P e Ca para as plantas. O solo é um forte dreno para o ânion fosfato, o que também pode acelerar o processo de dissolução dos fosfatos naturais. No entanto, como o solo foi corrigido e sua CTC aumentada (Tabelas 1 e 3), reduz o efeito dreno do solo pelo ânion fosfato e intensifica o efeito dreno Ca. De maneira geral, vários autores avaliando a dissolução de fosfatos naturais e fosfatos naturais reativos relatam que o dreno Ca foi o condicionante mais importante para a dissolução desses fertilizantes (Korndörfer, 1978; Robinson & Syers, 1990; Robinson & Syers, 1991; Robinson et al., 1992; Robinson et al., 1994; Bolan et al., 1997; Novais & Smyth, 1999 e Horowitz & Meurer, 2004). Além desses fatores, a maior superfície específica interna do FRA, como relatado por Chien &

Hammond (1978), Novais & Smyth (1999) e Horowitz & Meurer (2004), também favorece a dissolução do fertilizante proporcionando liberação de P e Ca para a solução do solo. Assim, com a provável maior dissolução do FRA no Latossolo que no Cambissolo, pode ter favorecido o melhor resposta em crescimento das plantas nesse solo, como verificado na Figura 2 a, b, c e d. Esse efeito pode ser observado pelos maiores teores da fração de P ligado ao Ca no Cambissolo, em relação ao Latossolo, após o cultivo das forrageiras adubadas com o FRA (Figura 2 c e d – Capítulo 2).

De maneira geral, o sorgo foi a planta que mais reduziu o crescimento quando adubado com o FRA, apresentando redução de até 58,5% de MSPA e 75% de MSR, quando cultivado no Cambissolo. O sorgo é uma espécie que passa por processo de melhoramento genético com maior intensidade em relação à braquiária, ao braquiarão e ao milheto. De maneira geral a maior parte dos trabalhos de melhoramento genético visam o aumento de produção o que consequentemente aumenta a exigência nutricional das plantas.

Na Figura 3 a, b, c e d observa-se o efeito das fontes de P sobre o acúmulo de P na parte aérea e nas raízes das gramíneas, respectivamente. Observa-se que o maior acúmulo de P em todas as gramíneas forrageiras foi obtido quando essas foram adubadas com o SFT, tanto no Latossolo quanto no Cambissolo (Figura 3 a, b, c e d), com exceção do braquiarão no Latossolo, que não obteve diferença significativa para o acúmulo de P na parte aérea entre as duas fontes de P aplicadas (Figura 3 a).

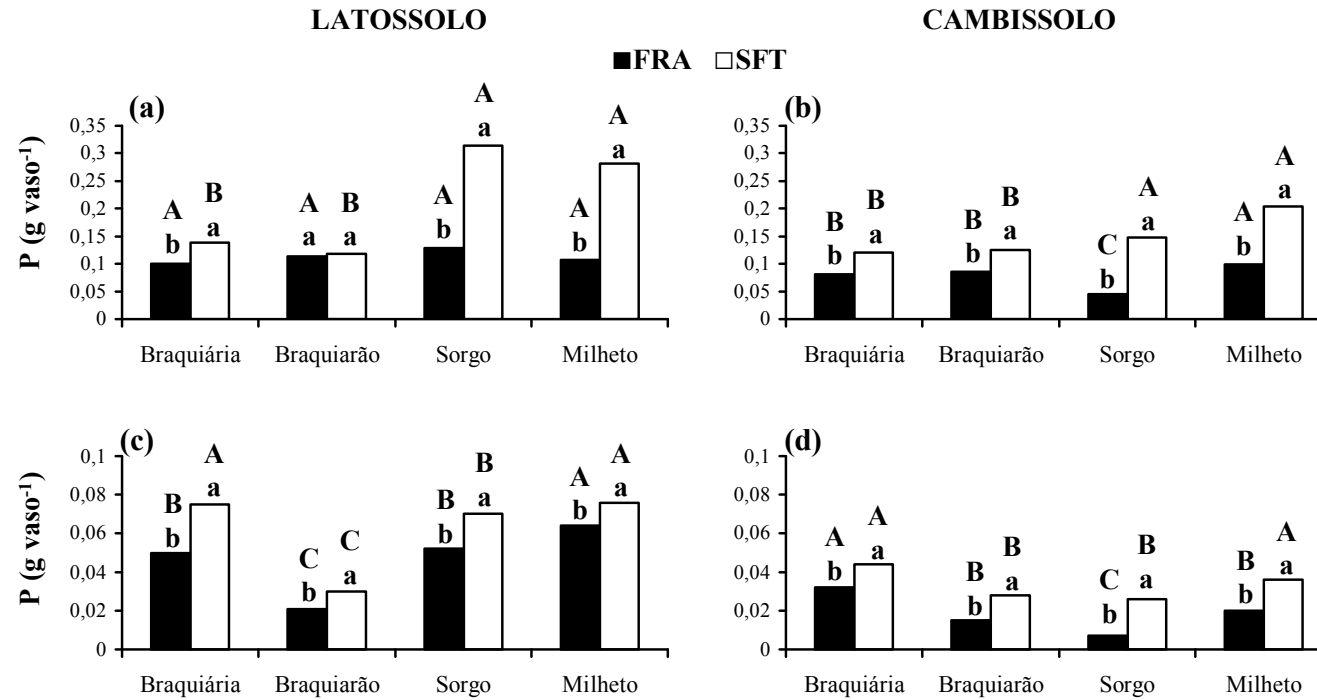


FIGURA 3 Acúmulo de P na parte aérea (a e b) e nas raízes (c e d) das gramíneas forrageiras adubadas com FRA e SFT no Latossoilo e no Cambissolo. Em cada solo, médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando as fontes de P para cada gramínea forrageira, e maiúscula, comparando as gramíneas forrageiras em cada fonte de P, não diferem entre si (Scott Knott 5%).

Com relação ao acúmulo de P na parte aérea das gramíneas, quando aplicado o FRA, as gramíneas não apresentaram diferença entre si no Latossolo e o milheto se destacou no Cambissolo (Figura 3 a e b). quando aplicado o SFT, o sorgo e o milheto acumularam mais P em ambos os solos (Figura 3 a e b).

A diferença do acúmulo de P na parte aérea das gramíneas forrageiras, quando adubadas com o FRA, entre os solos estudados pode estar relacionada com o fator dreno Ca, na solubilização do fosfato reativo. Então, no Latossolo, que possui o fator dreno Ca maior que no Cambissolo, devido à sua maior CTC potencial (Tabela 1), o fosfato natural pode ser solubilizado com maior velocidade, como já discutido anteriormente. Já no Cambissolo, as diferenças de acúmulo de P entre as gramíneas forrageiras pode estar relacionado com o fator dreno Ca exercido pelas plantas, e nesse sentido pode-se verificar que o milheto e o sorgo apresentaram maiores acúmulos de P na parte aérea em relação às demais espécies estudadas (Figura 3a).

Na Figura 3 c e d, observa-se que para o FRA, o milheto no Latossolo e a braquiária no Cambissolo, foram as espécies que mais acumularam P nas raízes. Para o SFT, o maior acúmulo nas raízes foi obtido pela braquiária e milheto em ambos os solos (Figura 3 c e d).

A Figura 4 apresenta os dados de Eficiência Relativa das diferentes forrageiras na aquisição do P do FRA em relação o SFT. Em ambos os solos, de maneira geral, esses dados resumem o efeito das fontes no crescimento e acúmulo de P pelas gramíneas forrageiras estudadas. Observa-se que a braquiária no Latossolo e o braquiarão no Cambissolo foram as plantas mais eficientes em absorver o P do FRA.

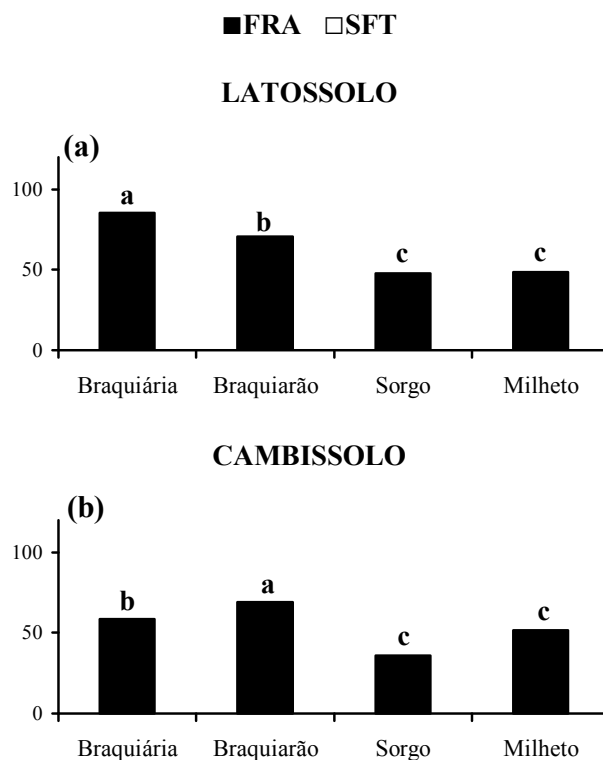


FIGURA 4 Eficiência relativa das diferentes forrageiras na aquisição de P do FRA em relação ao SFT no Latossolo (a) e no Cambissolo (b). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si (Scott Knott 5%).

Esses dados confirmam a afirmativa de Garcia et al. (2004) e Moreira (2004), de que as plantas do gênero *Brachiaria* possuem boa adaptação a solos de baixa fertilidade natural e podem ser ótima opção para a produção de palhada em sistema de plantio direto, ou mesmo em sistema de integração lavoura pecuária, com a utilização de fontes de P de menor custo. Com relação ao sorgo e ao milheto, também são ótimas forrageiras para produção de biomassa em SPD, no entanto, segundo os dados apresentados no presente trabalho há

necessidade de um maior incremento na adubação fosfatada para a produção satisfatória dessas plantas, aplicado o SFT ou maiores doses do FRA. Nesse caso para obtenção de melhor custo-benefício da adubação fosfatada, a escolha do fertilizante deve ser feita em função do custo de cada fonte.

De maneira geral, as plantas do gênero *Brachiaria* e o milheto apresentaram os melhores valores, tanto para RRPA quanto para RRR. Como no Latossolo pode ter ocorrido maior influência do efeito dreno de Ca do solo na solubilização do fósforo de arad, a melhor avaliação das plantas em relação ao crescimento e ao acúmulo de P quando adubadas com o FRA pode ser avaliado com os resultados obtidos no Cambissolo. Nesse sentido as plantas do gênero *Brachiaria* apresentaram os melhores resultados de crescimento, como observado na Figura 2 a, b, c e d.

4 CONCLUSÕES

Com os dados apresentados pela presente trabalho pode-se concluir que tanto no Latossolo quanto no Cambissolo o milho e o sorgo apresentaram maior crescimento e acúmulo de P quando adubados com o SFT. O crescimento e o acúmulo de P pelas plantas do gênero *Brachiaria* não diferiram em função da fonte de P aplicada em ambos os solos. Assim, quando as forrageiras foram adubadas com o FRA, a braquiária e o braquiarão apresentaram maior eficiência relativa de crescimento de parte aérea e acúmulo de P.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, R.C.; CABEZAS, W.AL.; CRUZ, J.C.; SANTANA, D.P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, v.22, n.208, p.25-36, jan/fev 2001.

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

BANZATTO, D.A. & KRONKA, S. do N. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 247p.

BERNARDI, A. C. C.; MACHADO, P. L. O. A.; FREITAS, P. L.; COELHO, M. R.; LEANDRO, W. M.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. P.; OLIVEIRA, R. P.; SANTOS, H. G.; MADARI, B. E.; CARVALHO, M. C. S. **Correção do solo e dubação no sistema de plantio direto nos cerrados**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 22 p. (Embrapa Solos. Documentos, 46).

BOLAN, N.S.; ELLIOTT, J.; GREGG, P.E.H.; WEIL, S. Enhanced dissolution of phosphate rocks in the rhizosphere. **Biol. Fertil. Soil**, v.24, p.169-174, 1997.

BORKET, C.M.; GAUDÊNCIO, C.A.; PEREIRA, J.E.; OLIVEIRA JUNIOR, A. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea de culturas de cobertura de solo para semeadura direta com rotação de culturas (compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., Brasília, 1999. **Anais...**Brasília: SBCS, EMBRAPA, CPAC, 1999.

BROCH, D.L. Integração agricultura-pecuária no Centro-Oeste do Brasil. In: ENCONTRO REGIONAL DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 4., 1999, Uberlândia. **Plantio direto na integração lavoura-pecuária**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2000. p.53-60.

BROCH, D.L. Soja PD em brachiária. **Direto no Cerrado**, Brasília, v.2, n.4, p.8-9, 1997.

CHIEN, S.H. & HAMMOND, L.L. A comparison of various laboratory methods for predicting the agronomic potential of phosphate rocks for direct application. **Soil Science Society of American Journal**, v.42, p.935-939, 1978.

EMBRAPA, Embrapa Solos, Embrapa Informática Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.

FAO. **Guide to efficient plant nutrition management**. Rome: FAO. 1998. 19p.

GARCIA, R.; ROCHA, F.C.; BERNARDINI, F.S.; GOBBI, K.F. **Forrageiras utilizadas no sistema integrado agricultura-pecuária**. In: ZAMBOLIM, L.; SILVA, A.A. da; AGNES, E.L. Manejo Integrado: Integração Agricultura-Pecuária. Viçosa: UFV; DFP; DFT, 2004. p331-352.

GIAROLA, N. F. B. **Levantamento pedológico, perdas de solo e aptidão agrícola das terras na região sob influência do reservatório de Itutinga/Camargos (MG)**. Lavras, ESAL, 1994. 226p. (Dissertação de Mestrado).

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. p.21-53.

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 American Journal**, Madison, v.46, n.5, p.970-976, Sep./Oct 1982.

HOROWITZ, N. & MEURER, E.J. Eficiência agronômica dos fosfatos naturais. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. **Fósforo na agricultura Brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p.665-688.

ISHERWOOD, K. F. **Fertilizer use and the environment**. Paris: IFA, UNEP, 1998. 51 p.

JOHNSTON, A. E. **The efficient use of plant nutrients in agriculture**. Paris: IFA, 2000. 14 p.

KLUTHCOUSKI, J. & STONE, L.F. Desempenho de culturas anuais sobre palhada de braquiária. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F.; AIDAR, H. **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p.499-522.

KORNDÖRFER, G.H. **Capacidade de fosfatos naturais e artificiais fornecerem fósforo para as plantas de trigo**. Porto Alegre, UFRGS, 62p., 1978 (Dissertação de Mestrado).

LAJTHA, K. & HARRISON, A.F. Strategies of phosphorus acquisition and conservation by plants species and communications. In: TIESSEN, H. (Ed.). **Phosphorus in the global environment: transfers, cycles and management**, Chichester: J. Wiley, 1995. p.139-146.

LANDERS, J. N. **Zero tillage development in tropical Brazil – the story of a succesful NGO activity**. Rome: FAO, 2001. 69 p. (FAO. Agricultural Services Bulletin, 147).

MACEDO, M.C.M. Adubação fosfatada em pastagens cultivadas com ênfase na região do cerrado. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. **Fósforo na agricultura Brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p.359-400.

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

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**, 2.ed. San Diego: ACADEMIC PRESS, 1995. 889p.

MOREIRA, F.M. de S. & SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, 2002. 626p.

MURPHY, J.; RILEY, J.P. A modified single solution methods for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v.27, p.31-36, 1962.

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, p. 95-102, 1983.

NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa:UFV, 1999.399p.

PITOL, C.; GOMES, E.L.; ERGES, E.I. Avaliação de cultivares de soja em plantio direto sobre brachiária. In: FUNDAÇÃO MS. **Resultados de pesquisa e experimentação**: safra 2000/2001. Maracaju, 2001. p.40-48.

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

ROBINSON, J.S. & SYERS, J.K. A critical evaluation of the factors influencing the dissolution of Gafsa phosphate rock. **Journal of Soil Science**, v.41, p.597-605, 1990.

ROBINSON, J.S. & SYERS, J.K. Effects of solution calcium concentration and calcium sink size on the dissolution of Gafsa phosphate rock in soils. **Journal of Soil Science**, v.42, p.389-397, 1991.

ROBINSON, J.S.; SYERS, J.K.; BOLAN, N.S. A simple conceptual model for predicting the dissolution of phosphate rock in soils. **J. Sci. Food Agric.**, v.64, p.397-403, 1994.

ROBINSON, J.S.; SYERS, J.K.; BOLAN, N.S. Importance of proton supply and calcium-sink size in the dissolution of phosphate rock materials of different reactivity in soil. **Journal of Soil Science**, v.43, p.447-459, 1992.

SOUSA, D. M. G. Manejo da fertilidade do solo sob cerrado com ênfase em plantio direto. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO EM PLANTIO DIRETO, Dourados, 1997. **Anais...** Dourados, EMBRAPA-CPAO, 1998. p. 53-58. (EMBRAPA-CPAO. Documentos, 22).

SOUZA, R.F. de. **Dinâmica de fósforo em solos sob influência da calagem e adubação orgânica, cultivados com feijoeiro**. Lavras, UFLA, 2005. 141p. (Tese de Doutorado).

SPEHAR, C. R.; SOUZA, P. I. M. **Sustainable cropping systems in the Brazilian Cerrados**. Rome: FAO Integrated Crop Management, 1996. 25 p. (FAO. Technical Series).

TOKURA, A.M.; FURTINI NETO, A.E.; CURTI, N.; FAQUIN, V.; KURIHARA, C.H.; ALOVISI, A.A. Formas de fósforo em solo sob plantio

direto em razão da profundidade e tempo de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.10, p.1467-1476, out. 2002.

CAPÍTULO II

**FRAÇÕES DE FÓSFORO EM SOLOS SUBMETIDOS AO CULTIVO DE
FORRAGEIRAS DE COBERTURA ADUBADAS COM DIFERENTES
FERTILIZANTES FOSFATADOS**

RESUMO

RODRIGUES, Carlos Ribeiro. Frações de fósforo em solos submetidos ao cultivo de forrageiras de cobertura adubadas com diferentes fertilizantes fosfatados. In: ___ **Frações de fósforo e produção da soja e do feijoeiro em sucessão a gramíneas adubadas com diferentes fertilizantes fosfatados**. 2005 113p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, MG¹.

O presente trabalho objetivou avaliar a alteração das frações de fósforo do solo após o cultivo de gramíneas forrageiras adubadas com diferentes fertilizantes fosfatados. Foram realizados dois experimentos em vasos de quatro dm³, utilizando-se amostras (0-20 cm) dos solos Cambissolo Háplico Tb distrófico típico e Latossolo Vermelho distrófico típico. Os dois experimentos, um em cada solo, foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 2 + 2, sendo quatro tratamentos de cobertura dos solos, representadas por quatro forrageiras (*Brachiaria decumbens*, *Brachiaria brizantha*, milho e sorgo forrageiro), duas fontes de P (Super Fosfato Triplo – SFT e Fosfato Reativo de Arad – FRA) e dois controles sem cultivo adubados com SFT e FRA. Após o cultivo das gramíneas foram avaliadas as frações P-resina, Pi-bicarbonato, Po-bicarbonato, Pi-hidróxido, Po-hidróxido, P-HCl e P-residual. O cultivo das forrageiras de cobertura adubadas com o SFT proporcionou maior acúmulo das frações P inorgânico e orgânico labéis e pouco labéis (P-resina, Pi-bic, Po-bic, Pi-hid e Po-hid). Com a aplicação do FRA, após o cultivo das forrageiras foi obtido os maiores teores das frações de P ligado ao Ca (P-HCl) e P-residual. As forrageiras de cobertura influenciaram as formas de P do solo, em função do potencial de acúmulo de P de cada planta e das características químicas e mineralógicas dos solos.

¹Comitê Orientador: Prof. Valdemar Faquin – DCS/UFLA (Orientador), Carlos Alberto Silva – DCS/UFLA (Co-orientador)

ABSTRACT

RODRIGUES, Carlos Ribeiro. Phosphorus fractions in soils submitted to the cultivation of cover forage plants fertilized with different phosphorus fertilizers. In **___ Phosphorus fractions and soybean and bean yield in succession to grass fertilizer with different phosphorus source**. 2005. 113p. Thesis (Doctorate in soils and plant nutrition) – Federal University of Lavras, MG¹.

The present work aimed to evaluate the alterations of the soil P fractions after cultivation of forage grasses fertilized with different phosphorus fertilizers. Two experiments were carried out using pots of 4 liters and samples (0-20 cm) of two classes of soils: Inceptisol (*Cambisol*) and Oxisol (*Latosol*). The two experiments, one in each soil, were conducted in completely randomized design in a 4 x 2 + 2 factorial scheme, and the treatments are represented by a combination of four forages (*Brachiaria decumbens*, *Brachiaria brizanta*, millet and forage sorghum), two sources of P (triple superphosphate –SFT and Reactive Arad phosphate - FRA) and two controls (without a cultivation fertilized with SFT and FRA). After the cultivation of the grasses, the P fractions (P-resin, Pi-bicarbonate, Po-bicarbonate, Pi-hydroxide, Po-hydroxide, P-HCl and P-residual) were evaluated. The growing of the cover forage plants fertilized with SFT provided greater accumulation of the fractions of inorganic and organic P, labile and little labile ((P-resin, Pi-bic, Po-bic, Pi-hid and Po-hid). When FRA was applied after cultivation of the forage plants, the highest contents of the fractions of Ca-linked P (P- HCL) and residual P were obtained. The cover forage plants influenced the forms of soil P which were dependent on the potential of P accumulation of each plant and of the chemical characteristics and mineralogical of soils.

¹Guidance Committee: Prof. Valdemar Faquim – DCS/UFLA (adviser), Carlos Alberto Silva –DCS/UFLA (Co-adviser)

1 INTRODUÇÃO

O fósforo (P) é o nutriente que mais limita a produção vegetal em regiões de solos tropicais e subtropicais (Raij, 1991; Novais & Smyth, 1999). Devido a grande quantidade de sítios de adsorção, pois são ricos em óxidos de Fe e Al e com pH baixo, esses solos se tornam um forte dreno para o ânion fosfato, competindo com a planta pelo nutriente (Novais & Smyth, 1999).

A dinâmica do P nesses solos é complexa, e vários fatores podem influenciar em sua transformação. O P no solo ocorre sob diferentes formas, e como já dito, o equilíbrio entre estas, está diretamente envolvida com a adição e remoção desse nutriente no sistema. O P adicionado via fertilizantes transforma-se inicialmente em P lábil e com o tempo passa para formas não lábil, estando indisponível para as plantas. O P do solo encontra-se em três diferentes formas, sendo P em solução, menor que $0,1 \text{ mg dm}^{-3}$, predominantemente na forma de H_2PO_4^- nos solos da região do cerrado; precipitado ou adsorvido aos colóides do solo e em equilíbrio com a solução do solo (P-lábil); sob formas de compostos de baixa solubilidade (precipitado) ou adsorvido às partículas do solo não estando em equilíbrio imediato com a solução do solo (P-não lábil), sendo essas formas denominadas normalmente como “fósforo fixado” (Larsen, 1967; Raij, 1991; Novais & Smyth, 1999). 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 forma lábeis muito lentamente. Em geral, quanto maior a acidez, o teor de argila, e principalmente, quanto maior a presença de óxidos de Fe, Al na fração argila, mais intenso é o processo de fixação do P nos solos dos trópicos (Malavolta, 1981; Lopes, 1983, Raij, 1991; Novais & Smyth, 1999). O P também pode passar a fazer parte de compostos orgânicos, que por mineralização acrescenta fosfatos inorgânicos ao sistema (Muniz, 1995). O P

orgânico ocorre em teores proporcionais ao conteúdo de matéria orgânica do solo. As principais formas de P orgânico no solo são o fosfato de inositol, fosfolípidios e nucleotídeos, que são facilmente mineralizáveis. O P orgânico pode compreender 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 (Moreira & Siqueira, 2002).

Em SPD, ou mesmo, em Integração Lavoura Pecuária, o aumento da deposição de resíduos vegetais na superfície do solo e ausência de revolvimento resulta em complexas modificações na fertilidade do solo. Há um aumento considerável nos teores dos nutrientes, principalmente o P, em superfície, devido à deposição de material vegetal (Menezes et al., 2002). Sendo que, as aplicações anuais de fertilizantes fosfatados, a liberação de P durante a decomposição dos resíduos vegetais e a redução da adsorção específica do P em decorrência do menor contato do nutriente com os constituintes inorgânicos do solo, resultam na acumulação superficial desse nutriente em sistema de plantio direto (Muzilli, 1996; Sidiras & Pavan, 1985). Além disso, a decomposição da matéria orgânica dos resíduos vegetais forma compostos orgânicos que competem pelos mesmos sítios de adsorção do P, aumentando a disponibilidade para as plantas. Outro efeito é a capacidade desses compostos orgânicos em formarem complexos estáveis com alumínio e ferro, reduzindo a precipitação do P.

O uso de plantas de cobertura eficientes em reciclar o P também vem sendo estudado, principalmente espécies utilizadas como forrageiras na região Sul do país, como aveia-preta, mucuna preta, ervilhaca e tremoço. No entanto, Borket et al (1999) demonstraram que nenhuma dessas plantas apresentou potencial para reciclagem do P. O uso do SPD em solos sob ecossistema cerrado foi possível, segundo Bernardi et al. (2003), a utilização de plantas de cobertura com alto potencial de produção de biomassa, como o milheto, capim pé-de-

galinha e recentemente, com a maior divulgação e utilização do sistema Santa Fé e Integração Agricultura Pecuária, o uso de plantas do gênero *Brachiaria*. No entanto são raros os estudos que avaliam o efeito do cultivo dessas espécies sobre as frações de P do solo, a eficiência na reciclagem de P e, conseqüentemente, a disponibilidade desse nutriente para as culturas subseqüentes.

Recentemente, o uso da metodologia do fracionamento seqüencial do P no solo, segundo Hedley et al (1982) vem sendo utilizando para avaliar os diferentes manejos da adubação fosfatada, ou mesmo de cultivo, sobre as frações de P do solo e a disponibilidade de P para as plantas, sob condições de solos tropicais e subtropicais (Ball-Coelho et al., 1993; Beck & Sanchez, 1994; Schmidt et al., 1996; Araújo & Salcedo, 1997; Rheinheimer et al., 2000; Rheinheimer & Anghinoni, 2001; Tokura et al., 2002; Andrade, 2005; Santos, 2005 e Souza, 2005). Pela metodologia de Hedley et al. (1982) modificada por Tokura et al. (2002), Andrade (2005), Santos (2005) e Souza (2005) são determinados: (1) o P-lábil, ou seja, o P disponível (P-resina) e o P adsorvido à superfície dos colóides [(Pi+Po)-NaHCO₃]; (2) formas pouco lábeis, compreendendo o P ligados a Fe e Al e o P ligado a compostos húmicos [(Pi+Po)-NaOH] e (3) formas não lábeis, que incluem o P ligado ao Ca (P-HCl), considerado insolúvel, e as formas mais estáveis de Po e Pi (P-residual), determinados após a digestão com H₂SO₄ e H₂O₂.

O efeito de resíduos vegetais sobre a dinâmica e distribuição das frações de P no solo é pouco conhecida e estudada na literatura internacional (Magid, 1993), e segundo Rheinheimer & Anghinoni (2001), desconhecida para solos da região Sul do Brasil, região essa, que já possui um grande histórico de pesquisa na área de solos e fertilidade. Nesse sentido, estudos sobre o efeito de plantas de cobertura utilizadas em ecossistema sob cerrado, como o milheto e plantas do gênero *Brachiaria*, sobre a fertilidade do solo seria interessante, pois ainda,

nessa região, estão sendo realizados vários estudos para adequar o manejo da adubação das plantas nesse sistema.

Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a alteração das frações de fósforo do solo após o cultivo de gramíneas forrageiras adubadas com fertilizantes fosfatados de diferentes solubilidades.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas amostras (0-20 cm) dos solos Cambissolo Háplico tb distrófico típico textura média e Latossolo Vermelho distrófico típico textura muito argilosa. O primeiro solo foi coletado no município de Nazareno-MG e o segundo no Campus da UFLA, Lavras-MG. Ambos os solos foram coletados sob vegetação natural sem cultivo prévio.

Foram realizados dois experimentos, um em cada solo, em vasos de cinco dm³ de capacidade, contendo quatro dm³ de solo. As gramíneas forrageiras, utilizadas como plantas de cobertura, foram cultivadas em casa-de-vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, Lavras/MG de 15/11/2004 a 15/01/2005 e adubadas com fontes de P de diferentes solubilidades.

Em ambos os solos o delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 2 + 2, sendo os quatro tratamentos de cobertura dos solos, representadas pelo cultivo prévio das quatro forrageiras (*Braquiária decumbens* – braquiária, *Braquiária brizantha* – braquiarião, milho e sorgo forrageiro), duas fontes de P (Superfósforo triplo - SFT e Fósforo reativo de arad - FRA) e mais dois tratamentos adicionais. Os tratamentos adicionais foram representados pelos dois solos adubados com as fontes de P, na mesma época dos tratamentos com as gramíneas de cobertura, mas que não foram cultivados, permanecendo, portanto, em pousio durante o cultivo prévio das gramíneas forrageiras. Foram utilizadas quatro repetições para todos os tratamentos.

As amostras dos solos foram secas ao ar e peneiradas em malha de quatro mm de abertura. Após, subamostras foram tomadas para caracterizações física, química e das frações de P (Tabela 1). Com base nas análises químicas, foi efetuada a calagem nos solos visando elevar a saturação por bases à 60%, utilizando-se calcário dolomítico calcinado e micropulverizado, com 35% de CaO, 14% de MgO e PRNT = 100%.

TABELA 1 Atributos químicos e físicos e frações de P do Latossolo Vermelho distrófico típico e Cambissolo Háplico Tb distrófico típico antes da aplicação dos tratamentos¹.

Atributos	Latossolo	Cambissolo
pH H ₂ O (1:2,5)	4,7	5,4
P (mg dm ⁻³)	0,9	0,6
K (mg dm ⁻³)	20,0	20,0
Ca (cmol _c dm ⁻³)	0,6	0,7
Mg (cmol _c dm ⁻³)	0,2	0,2
Al (cmol _c dm ⁻³)	1,1	0,7
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	7,0	2,3
SB (cmol _c dm ⁻³)	0,9	1,0
(t) (cmol _c dm ⁻³)	2,0	1,7
(T) (cmol _c dm ⁻³)	7,9	3,3
V (%)	10,8	29,2
M (%)	56,0	42,0
MO (dag kg ⁻¹)	4,9	2,1
P-rem (mg dm ⁻³)	10,2	25,2
Areia (dag kg ⁻¹)	21,0	55,0
Silte (dag kg ⁻¹)	9,0	16,0
Argila (dag kg ⁻¹)	70,0	29,0
Classe Textural	Muita Argilosa	Média
SiO ₂ (g kg ⁻¹)	129,8	144,0
Al ₂ O ₃ (g kg ⁻¹)	319,1	155,0
Fe ₂ O ₃ (g kg ⁻¹)	171,8	23,0
TiO ₂ (g kg ⁻¹)	22,0	3,0
P ₂ O ₅ (g kg ⁻¹)	0,9	0,1
Ki (SiO ₂ /Al ₂ O ₃)	0,41	1,57
Kr	0,26	1,43
	Fracionamento ²	
P-resina (mg dm ⁻³) ³	3,1	1,9
Pi-bic (mg dm ⁻³)	87,9	5,9
Po-bic (mg dm ⁻³)	1,1	0,2
Pi-hid (mg dm ⁻³)	243,4	50,1
Po-hid (mg dm ⁻³)	909,6	537,9
P-HCl (mg dm ⁻³)	6,3	9,0
P-residual (mg dm ⁻³)	884,0	683,7
P-total (mg dm ⁻³)	2.135,4	1.288,6

¹P e K – Extrator Mehlich I; Ca, Mg e Al – Extrator KCl 1 mol L⁻¹; H+Al – Extrator SMP; SB – Soma de Bases; (t) – CTC efetiva; (T) – CTC potencial (a pH 7,0); V – saturação por bases; m – saturação por alumínio; P-rem – Fósforo remanescente; MO – oxidação Na₂Cr₂O₇ 0,67 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 5 mol L⁻¹ (Embrapa, 1999). Resultados da análise de ataque sulfúrico dos solos apresentados, para o Cambissolo, por Giarola (1994) e, para o Latossolo, (Souza, 2005).

²Extração sequencial segundo Hedley et al. (1982), modificado por Tokura et al (2002) e determinação segundo Murphy & Riley (1962). Extração sequencial com resina (P-resina); NaHCO₃ 0,1 mol L⁻¹ inorgânico (Pi-bic) e orgânico (Po-bic); NaOH 0,1 mol L⁻¹ + NaOH 0,5 mol L⁻¹ inorgânico (Pi-hid) e orgânico (Po-hid); HCl (P-HCl); H₂SO₄ + H₂O₂ (P-residual) e a somatória de todas as frações (P-total).

Após incubação dos solos por 20 dias com umidade próxima à 60% do volume total de poros (VTP), as fontes de fósforo (SFT e FRA) foram incorporadas aos quatro dm³ de solo dos vasos, nas doses de 150 e 250 mg dm⁻³ de P para o Cambissolo e Latossolo, respectivamente, considerando o teor de P total das fontes (Tabela 2). Antes de ser incorporado aos solos, o SFT foi moído em granulometria aproximada ao FRA. Pretendeu-se para as duas fontes (SFT e FRA), aplicar doses de P menores que as adequadas, recomendadas por Alvarez V. & Fonseca (1990) para ensaios em vasos, visando avaliar a capacidade das forrageiras de cobertura em aproveitar o P aplicado aos solos. Assim, o Latossolo sendo mais argiloso e com características mineralógicas mais favoráveis à adsorção específica de P, recebeu dose maior do nutriente.

TABELA 2 Composição química e física dos fertilizantes fosfatados

Fonte	P ₂ O ₅ total	P ₂ O ₅ solúvel			CaO	Granulometria
		água	CAN+água	Cítrico ¹		
SFT	46,1	38,8	46,1	-	13,0	Granulado
FRA	33,1	-	-	9,4	37,0	Farelado

¹Ácido cítrico a 2% (1:100)

Juntamente com a adubação fosfatada foi efetuada uma adubação básica com 80 mg de N, 80 mg de K, 60 mg de S, 0,5 mg de B, 1,5 mg de Cu e 5 mg de Zn por dm³ de solo, sob a forma de solução nutritiva. Foram utilizadas as fontes p.a.: (NH₄)₂SO₄, KNO₃, NH₄NO₃, H₃BO₃, CuSO₄.5H₂O e ZnSO₄.7H₂O.

Após a aplicação dos tratamentos foram retiradas subamostras dos tratamentos nos dois solos para análise química e das frações de P (Tabela 3).

TABELA 3 Atributos químicos e frações de P do Latossolo Vermelho distrófico típico e Cambissolo Háplico Tb distrófico típico após a aplicação dos tratamentos.

Atributos	Latossolo		Cambissolo	
	SET	ERA	SET	ERA
pH H ₂ O (1:2,5)	5,2	5,1	5,3	5,4
P (mg dm ⁻³)	30,9	108	45,9	96,9
K (mg dm ⁻³)	90	86	76,0	86
Ca (coml _c dm ⁻³)	2,9	2,9	1,3	1,6
Mg (coml _c dm ⁻³)	1,0	1,0	0,7	0,3
Al (coml _c dm ⁻³)	0,3	0,2	0,2	0,2
H+Al (coml _c dm ⁻³)	5,6	5,6	2,1	1,9
SB (coml _c dm ⁻³)	4,1	4,1	2,2	2,1
(t) (coml _c dm ⁻³)	4,3	4,3	2,4	2,3
(T) (coml _c dm ⁻³)	9,7	9,7	4,3	4,0
V (%)	42,4	42,4	51,0	52,7
M (%)	7,0	5,0	8,0	9
MO (dag kg ⁻¹)	4,8	4,8	2,2	0,9
P-rem (mg dm ⁻³)	10,9	9,7	26,8	25,2
P-resina (mg dm ⁻³)	76,2	58,1	87,4	53,2
	Fracionamento ¹			
P-resina (mg dm ⁻³)	87,6	76,0	77,8	52,7
Pi-bic (mg dm ⁻³)	34,5	7,5	40,9	6,6
Po-bic (mg dm ⁻³)	99,4	62,4	44,7	11,0
Pi-hid (mg dm ⁻³)	597,6	483,4	116,8	129,9
Po-hid (mg dm ⁻³)	846,3	797,9	545,3	544,1
P-HCl (mg dm ⁻³)	0,6	11,6	0,8	26,3
P-residual (mg dm ⁻³)	739,2	936,6	616,1	611,1
P-total (mg dm ⁻³)	2405,2	2375,3	1442,4	1381,8

P e K – Extrator Mehlich I; Ca, Me e Al – Extrator KCl 1mol L⁻¹ H+Al – Extrator SMP; SB – Soma de Bases; (t) – CTC efetiva; (T) – CTC potencial (a pH 7,0); V – saturação por bases; m – saturação por alumínio; P-rem – Fósforo remanescente; MO – oxidação Na₂Cr₂O₇ 0,67 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 5 mol L⁻¹ (Embrapa, 1999).

² Extração sequencial segundo Hedley et al. (1982), modificado por Tokura et al (2002) e determinação segundo Murphy & Riley (1962). Extração sequencial com resina (P-resina); NaHCO₃ 0,1 mol L⁻¹ inorgânico (Pi-bic) e orgânico (Po-bic); NaOH 0,1 mol L⁻¹ + NaOH 0,5 mol L⁻¹ inorgânico (Pi-hid) e orgânico (Po-hid); HCl (P-HCl); H₂SO₄ + H₂O₂ (P-residual) e a somatória de todas as frações (P-total).

Em seguida foram semeadas 10 sementes por vaso de cada forrageira e desbastadas para quatro plântulas uma semana após emergência. Durante o cultivo, as forrageiras receberam adubações nitrogenada e potássica em

cobertura, aplicando-se 400 mg dm^{-3} de cada nutriente para a *B. brizantha* e *B. decumbens* e 500 mg dm^{-3} de cada nutriente para o sorgo e milho, parceladas em sete aplicações. A umidade do solo foi mantida a 60% do VTP, por meio da pesagem dos vasos e adição de água deionizada. Os vasos correspondentes às repetições do tratamento sem cultivo de forrageiras de cobertura, receberam apenas as adubações com as fontes de P e a umidade também foi mantida a 60% do VTP durante todo o período.

As forrageiras de cobertura foram cultivadas até o pré-florescimento, quando a parte aérea foi cortada a dois cm da superfície do solo. Após, foram retiradas subamostras de solos de todos os vasos com auxílio de um trado manual. Nas subamostras de solo dos tratamentos foi realizado o fracionamento sequencial das frações de P segundo método modificado de Hedley et al (1982), adaptado por Tokura et al. (2002), onde foi determinado o P-resina, P inorgânico bicarbonato (Pi-bic), P orgânico bicarbonato (Po-bic), P inorgânico hidróxido (Pi-hid), P orgânico hidróxido (Po-hid), P ligado a Ca (P-HCl) e P-residual.

Por esse procedimento de extração sequencial, as frações lábeis de P foram extraídas pela resina de troca aniônica (P-resina) saturada com bicarbonato; o P inorgânico e orgânico adsorvidos nas superfícies dos colóides (Pi-bic e Po-bic) foram extraídos com NaHCO_3 ($0,5 \text{ mol L}^{-1}$). As frações de fósforo pouco lábil, correspondente às frações inorgânicas ligadas a Fe e Al (Pi-hid) e orgânicas associadas com compostos húmicos (Po-hid), foram extraídas com NaOH ($0,1$ e $0,5 \text{ mol L}^{-1}$). As frações de P relativamente insolúveis (P não lábil), associadas a cálcio, foram extraídas com HCl ($1,0 \text{ mol L}^{-1}$) (P-HCl) e o P-residual, contendo as frações mais estáveis de Pó e insolúveis de Pi. Foi extraído por digestão com H_2SO_4 concentrado e H_2O_2 (P-residual). Em todos os extratos de solo, o fósforo foi determinado por colorimetria, segundo Murphy & Riley (1962).

As frações de P determinadas pelo fracionamento seqüencial: P-resina, Pi-bicarbonato (Pi-bic), Pi-hidróxido (Pi-hid), P-HCl, Po-bicarbonato (Po-bic), Po-hidróxido (Po-hid) e P-residual foram submetidos à análise de variância e testes de média com auxílio do programa estatístico SISVAR[®]. As médias dos tratamentos componentes do fatorial foram comparadas entre si pelo teste de Scott Knott ($P \leq 0,05$). As médias dos tratamentos adicionais foram comparadas com as médias dos demais tratamentos por contrastes ($P \leq 0,05$), como demonstrado no Esquema abaixo, para ambos os solos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Frações de P inorgânico lábil, pouco lábil e não lábil

O Pi compreende a somatória das formas de P-resina, Pi-bic, Pi-hid e P-HCl. Dentre essas, o P-resina (Raij, 1991) e Pi-bic (Tiessen et al., 1992; Rheinheimer et al., 2000) são as formas disponíveis para as plantas e representam pouco do P total, e são altamente influenciados pelas adubações fosfatadas. O Pi-hid, representa formas de P do solo considerados de baixa disponibilidade para as plantas (Roberts & Stewart, 1987) e estão associadas às formas de P amorfos e cristalinos de Fe e de Al (Williams et al., 1980). Alguns autores relatam que essa forma de P é mais dinâmica do que tem sido relatada na literatura e é influenciado pelas adições de P aos solos (Tiessen et al., 1992; Ball-Coelho et al., 1993; Rheinheimer et al., 2000; Rheinheimer & Anghinoni, 2001; Tokura, et al., 2002). O P-HCl, compreende o P ligado ao Ca (Walker & Syers, 1976) e de maneira geral, segundo Tokura et al. (2002), apresenta altos valores em áreas cultivadas devido a constante adição de calcário, ou em área com uso constante de fontes de P de baixa solubilidade como os fosfatos naturais reativos ou não.

Observa-se na Tabela 4 que os teores de P-resina nos tratamentos sem cobertura foram superiores aos obtidos nos tratamentos com cultivo das quatro gramíneas forrageiras, em ambos os solos e para ambas as fontes de P aplicadas.

TABELA 4 Estimativa dos contrastes de médias para os teores de P-resina (P-res), Pi-bicarbonato (Pi-bic), Pi-hidróxido (Pi-hid) e P-HCl entre o tratamento sem cultivo e os tratamentos com cultivo das forrageiras de cobertura, nos solos adubados com SFT e FRA.

CONTRASTES	Latossolo				Cambissolo			
	P-res	Pi-bic	Pi-hid	P-HCl	P-res	Pi-bic	Pi-hid	P-HCl
	----- (mg dm ⁻³)-----							
S/ Cultivo SFT – Braquiária SFT	20,4 ^{**1}	-5,4 ^{ns}	-149,0 ^{**}	0,2 ^{ns}	30,6 ^{**}	10,9 ^{**}	2,6 ^{ns}	0,0 ^{ns}
S/ Cultivo SFT – Braquiarão SFT	33,8 ^{**}	0,5 ^{ns}	-69,8 ^{**}	0,0 ^{ns}	41,2 ^{**}	12,2 ^{**}	17,3 ^{ns}	0,2 ^{ns}
S/ Cultivo SFT – Sorgo SFT	39,3 ^{**}	9,8 ^{**}	13,4 ^{ns}	0,1 ^{ns}	39,4 ^{**}	13,1 ^{**}	29,5 ^{**}	0,4 ^{ns}
S/ Cultivo SFT – Milheto SFT	54,8 ^{**}	17,7 ^{**}	-22,4 ^{ns}	0,1 ^{ns}	56,1 ^{**}	18,9 ^{**}	56,3 ^{**}	0,2 ^{ns}
S/ Cultivo FRA – Braquiária FRA	49,4 ^{**}	1,8 ^{ns}	13,76 ^{ns}	8,5 ^{**}	31,6 ^{**}	2,7 ^{ns}	-2,4 ^{ns}	3,9 ^{ns}
S/ Cultivo FRA – Braquiarão FRA	61,9 ^{**}	2,1 ^{ns}	25,6 ^{ns}	8,5 ^{**}	32,4 ^{**}	2,9 ^{ns}	-9,5 ^{ns}	8,9 ^{**}
S/ Cultivo FRA – Sorgo FRA	41,1 ^{**}	2,1 ^{ns}	23,4 ^{**}	9,3 ^{**}	33,7 ^{**}	-2,1 ^{ns}	-26,7 ^{**}	9,9 ^{**}
S/ Cultivo FRA – Milheto FRA	54,6 ^{**}	4,2 ^{ns}	87,4 ^{**}	8,8 ^{**}	19,2 [*]	4,3 ^{ns}	15,2 ^{ns}	5,8 [*]

^{**}, ^{*}, ^{ns} – Significativo a 1, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de F.

¹ Os valores correspondem à diferença das médias entre o tratamento adicionais, sem cultivo, e os tratamentos com cultivo das forrageiras, adubados com SFT e o FRA. Quando negativos, a média obtida no tratamento com cultivo das forrageiras foi superior à média obtida no tratamento adicional, sem cultivo.

Na Figura 1 a e b observa-se que após o cultivo de todas as forrageiras e em ambos os solos os menores teores de P-resina foram obtidos quando aplicado o FRA. Considerando que o P-resina reflete o P disponível para as plantas (Raij, 1991; Tiessen et al., 1992; Rheinheimer et al., 2000), observa-se que quando aplicado o SFT houve maior disponibilidade de P para as plantas. No entanto, como observado na Figura 1 do Capítulo 1, no Latossolo, somente o sorgo reduziu o crescimento quando adubado com o FRA, e no Cambissolo, todas as forrageiras reduziram o crescimento quando adubadas com o FRA. Então, quando aplicado o FRA no Latossolo os teores de P disponível (P-resina) foram suficientes para manter um bom crescimento das plantas. O Latossolo apresenta maior fator dreno de Ca e de P do que o Cambissolo, devido sua maior CTC potencial e maiores teores de óxidos de Fe e Al (Tabela 1), e como a dissolução de fosfatos naturais e naturais reativos é influenciada principalmente pelo fator dreno de Ca e P do solo (Korndörfer, 1978; Robinson & Syers, 1990; Robinson & Syers, 1991; Robinson et al., 1992; Robinson et al., 1994; Bolan et al., 1997; Novais & Smyth, 1999 e Horowitz & Meurer, 2004), provavelmente, a dissolução do FRA no Latossolo foi maior que no Cambissolo, aumentando a disponibilidade de P e Ca para as plantas. As plantas também são drenos de Ca e P do solo influenciando, também, na dissolução dos fosfatos naturais. No entanto, o dreno Ca e P do Latossolo possui, provavelmente, maior magnitude apresnetando maior influencia sobre a dissolução do FRA, pois ao contrário, o mesmo efeito seria observado no Cambissolo.

Para efeito foi estimado a intensidade do fator dreno de Ca e P dos solos e das plantas. Para estimar o fator dreno de Ca do solo foi determinada a quantidade de Ca (g) necessário para ocupar a 100% da CTC potencial (Tabela 1). O fator dreno de P foi estimado através da diferença da concentração da solução utilizada para determinar o P-rem do respectivo valor de P-rem (Tabela 1), ou seja, quanto de P da solução de equilíbrio foi adsorvido. Para determinar a

magnitude do fator dreno de Ca e P das plantas foi feito o cálculo do acúmulo médio de Ca e P (g vaso^{-1}) total das plantas em ambos os solos independente da fonte de P utilizada. Os valores são apresentados na Tabela 4.

A intensidade da influência do fator dreno de P do solo sobre a dissolução de fosfatos reativos é muito pequeno (Novais & Smyth, 1999), e os dados apresentados na Tabela 4 ilustram esse efeito, sendo o fator dreno de Ca dos solos 31,9 e 26, vezes maior, no Latossolo e Cambissolo, respectivamente que o fator dreno P exercido pelas plantas.. Observa-se, também, na Tabela 4, que a magnitude do fator dreno de P dos solos é semelhante ao fator dreno exercido pelas plantas. Já o fator dreno de Ca exercido pelos solos é em média de 11,7 a 20,6 vezes maior que o exercido pelas plantas.

TABELA 4 Estimativa da magnitude dos fatores dreno de Ca e P (g vaso^{-1}) exercido pelos solos e plantas cultivadas

Fator Dreno	Latossolo	Cambissolo	Braquiária	Braquiarão	Sorgo	Milheto
Ca	6,38	3,64	0,30	0,34	0,48	0,22
P	0,20	0,14	0,14	0,18	0,28	0,26

Comparando o efeito das gramíneas em cada fonte de P sobre os teores de P-resina, observa-se comportamento distinto para os solos (Figuras 1 a b). No Latossolo, os menores teores de P-resina foram obtidos após o cultivo do braquiarão e do milho, quando aplicado o FRA e SFT, respectivamente. No Cambissolo, os menores teores de P-resina foram obtidos após o cultivo da braquiária, do braquiarão e do sorgo, quando aplicado o FRA, e após o cultivo do milho, quando aplicado o SFT.

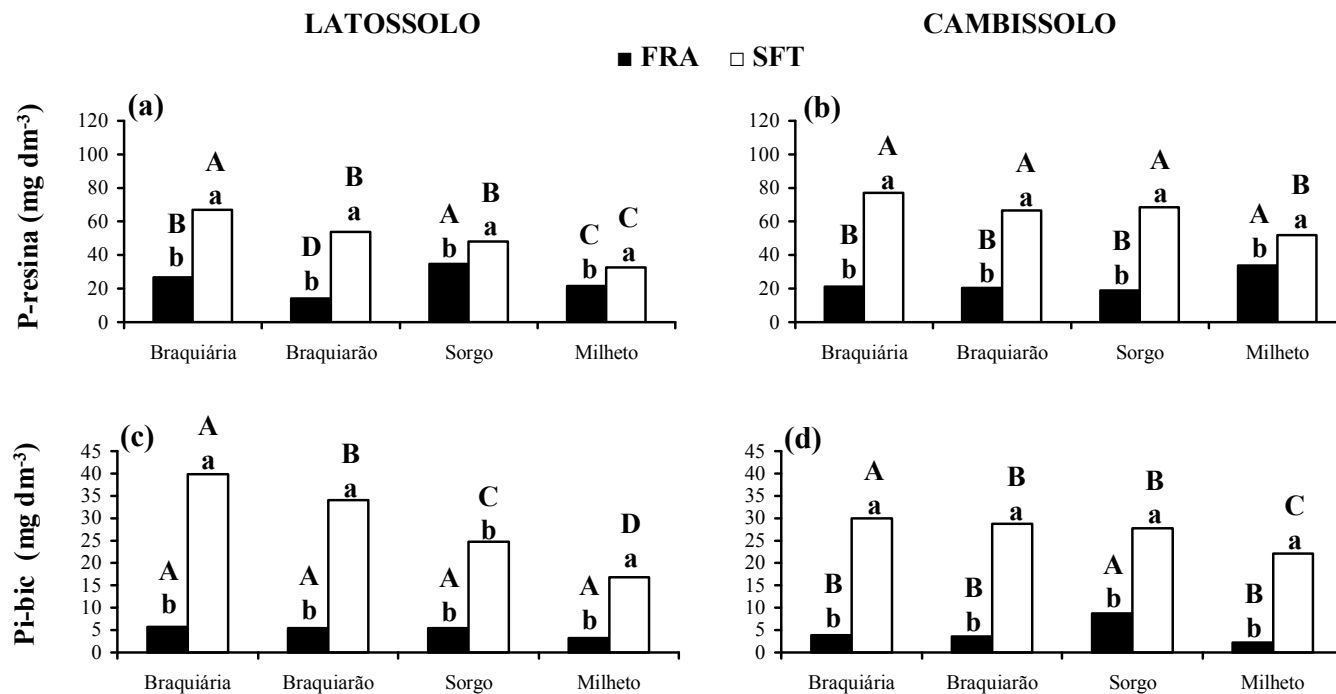


FIGURA 1 Teores de P-resina (P-res) e Pi-bicarbonato (Pi-bic) após o cultivo das forrageiras adubadas com FRA e SFT no Latossoilo e no Cambiassoilo. Em cada solo, médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando as fontes de P para cada gramínea forrageira, e maiúscula, comparando as gramíneas forrageiras em cada fonte de P, não diferem entre si (Scott Knott 5%).

Para ambos os solos, após o cultivo do milheto adubado com o SFT foram obtidos os menores teores de P-resina, o que pode estar relacionado com o maior acúmulo desse nutriente por essa planta, como visto na Figura 3 a do Capítulo 1.

Para os teores de Pi-bic que, também, compreende o P disponível para as plantas (Tiessen et al., 1992; Rheinheimer et al., 2000), comparando os teores obtidos nos tratamentos sem cultivo com os obtidos nos tratamentos com cultivo das gramíneas forrageiras, observa-se que quando aplicado o FRA não foi obtida diferença significativa, em ambos os solos estudados (Tabela 5). Quando aplicado o SFT, no Latossolo, os teores de Pi-bic após o cultivo das plantas do gênero *Brachiaria* não apresentaram diferença significativa com o tratamento sem cultivo e após o cultivo do sorgo e do milheto os teores foram significativamente inferiores (Tabela 5). No Cambissolo, quando aplicado o SFT, após o cultivo das forrageiras os teores de Pi-bic foram inferiores aos obtidos no tratamento sem cultivo (Tabela 5). O Pi-bic, compreende o P adsorvido aos colóides do solo e em equilíbrio com a solução do solo (Tiessen et al., 1992; Rheinheimer et al., 2000), e com isso pode-se inferir que quando aplicado o SFT, houve suprimento constante do P na solução do solo o que proporcionou bom crescimento das plantas, sendo que as doses de P aplicadas via SFT (150 e 250 mg dm⁻³, no Cambissolo e Latossolo, respectivamente) foram suficientes para manter o P disponível alto. A alta disponibilidade de P na solução do solo após cultivo das braquiária e do braquiarão adubados com SFT, pode ser atribuída, também, ao baixo potencial dessas plantas em acumular P, corroborando assim, com a afirmativa de Garcia et al. (2004) e Macedo (2004) de que estas plantas são menos exigentes em P, comparadas ao sorgo e ao milheto.

Na Figura 1 c e d observa-se que em ambos os solos os maiores teores foram obtidos quando aplicado o SFT. No Latossolo, quando aplicado o FRA, não foi observado diferença dos teores de Pi-bic entre as forrageiras (Figura 1 c). Como relatado acima, o fator dreno de Ca do solo é um dos principais fatores que influencia na dissolução dos fosfatos naturais. Nesse sentido, no Latossolo, devido à alta CTC

potencial, provavelmente o efeito das plantas sobre a dissolução do FRA e aumento nos teores de P disponível pode ter sido mascarado pelo efeito dreno de Ca do solo, como observado na Tabela 4. Já no Cambissolo, devido ao menor efeito do fator dreno de Ca exercido pelo solo, as diferenças nos teores de Pi-bic entre as forrageiras após o cultivo, quando adubadas com FRA, podem ser atribuídas, também, ao efeito da planta. Assim, no Cambissolo, após o cultivo do sorgo adubado com FRA foi obtido o maior valor de Pi-bic (Figura 1 d). Com isso, pode-se inferir que o sorgo apresentou baixa eficiência na absorção do P oriundo do FRA, como observado na Figura 4 do Capítulo 1, favorecendo o aumento da fração de P disponível. As plantas possuem vários mecanismos para aumentar a eficiência na absorção de P, como acidificação da rizosfera devido à liberação de ácidos orgânicos de cadeia curta, e aumento de crescimento do sistema radicular. No entanto, com os resultados do presente trabalho não se pode concluir qual seria o efeito da maior eficiência da braquiária, do braquiarão e do milheto na aquisição do P de fontes de baixa solubilidade, sendo necessário avaliar esses efeitos em futuros trabalhos. Quando aplicado o SFT, em ambos os solos, os maiores teores de Pi-bic foram obtidos após o cultivo da braquiária, seguida do braquiarão, do sorgo e do milheto. Esse efeito pode ser atribuído ao menor acúmulo de P pela braquiária e pelo braquiarão, como observado na Figura 3 a do Capítulo 1.

De maneira geral, quando aplicado o SFT após o cultivo das plantas reduziu os teores de P-resina e Pi-bic e quando adicionado o FRA, observou-se alteração significativa somente da fração P-resina. Nesse caso o P-lábil é representado predominantemente pelo P-resina, com pequena contribuição do Pi-bic, adsorvido aos colóides do solo. Santos (2005) avaliando o efeito do modo de aplicação de diferentes adubos fosfatados no milho sob as frações de P no solo após o cultivo relata que a aplicação de fontes de P de baixa solubilidade pouco contribuiu para o aumento das frações mais lábeis de P.

Como já relatado o P-resina e o Pi-bic correspondem ao P lábil, ou seja, o P disponível (Hedley et al. 1982). Diversos autores observaram alterações significativas nessas frações quando aplicado fertilizantes fosfatados solúveis (Conte et al., 2003; Santos, 2005) e fertilizantes orgânicos (Andrade, 2005; Souza, 2005). Conte et al. (2003), Dobermann et al. (2002) e Santos (2005) observaram aumento da proporção das frações mais lábeis de P inorgânico à medida que foi adicionado P ao solo, possivelmente devido à saturação dos sítios de adsorção. A adição de fertilizantes fosfatados pouco solúveis, como os fosfatos naturais, pouco contribui para o aumento das frações de P lábil. Bahia Filho et al. (1982) avaliando o efeito da adição de diferentes fertilizantes fosfatados sobre as formas de P inorgânico disponível, relatam que a adição de fontes de baixa solubilidade, como os fosfatos naturais, pouco contribuiu para o aumento das frações de P lábeis, semelhante ao observado no presente trabalho (Figura 1 a, b, c e d). O efeito do cultivo das plantas na redução do P inorgânico lábil (P-resina e Pi-bic) está relacionado diretamente com o acúmulo de P pelas plantas. Duda (2002) estudando o efeito do cultivo da *Brachiaria decumbens* sobre as formas orgânicas e inorgânicas de P lábeis, relata que com o cultivo houve aumento da fração inorgânica de P em detrimento da redução da fração de P orgânico lábil, sendo que essa última fração pode estar se comportando como fator quantidade de P no solo. No entanto, Motta (2002) e Santos (2005), relatam que na presença da braquiária foram obtidos os menores valores das frações lábeis de P inorgânico devido à maior extração pela planta e conseqüentemente, maiores teores das frações orgânicas de fósforo. Resende (2004) e Santos (2005) enfatizam que a presença do capim braquiária na entre-safra contribuiu para a redução da fração lábil de P e aumentar a disponibilidade desse nutriente nas distintas formas de manejo da adubação fosfatada. Ainda é pouco estudado o efeito do cultivo das plantas sob as frações de P do solo, mesmo porque é pouco estudado o efeito dessas plantas na alteração da rizosfera.

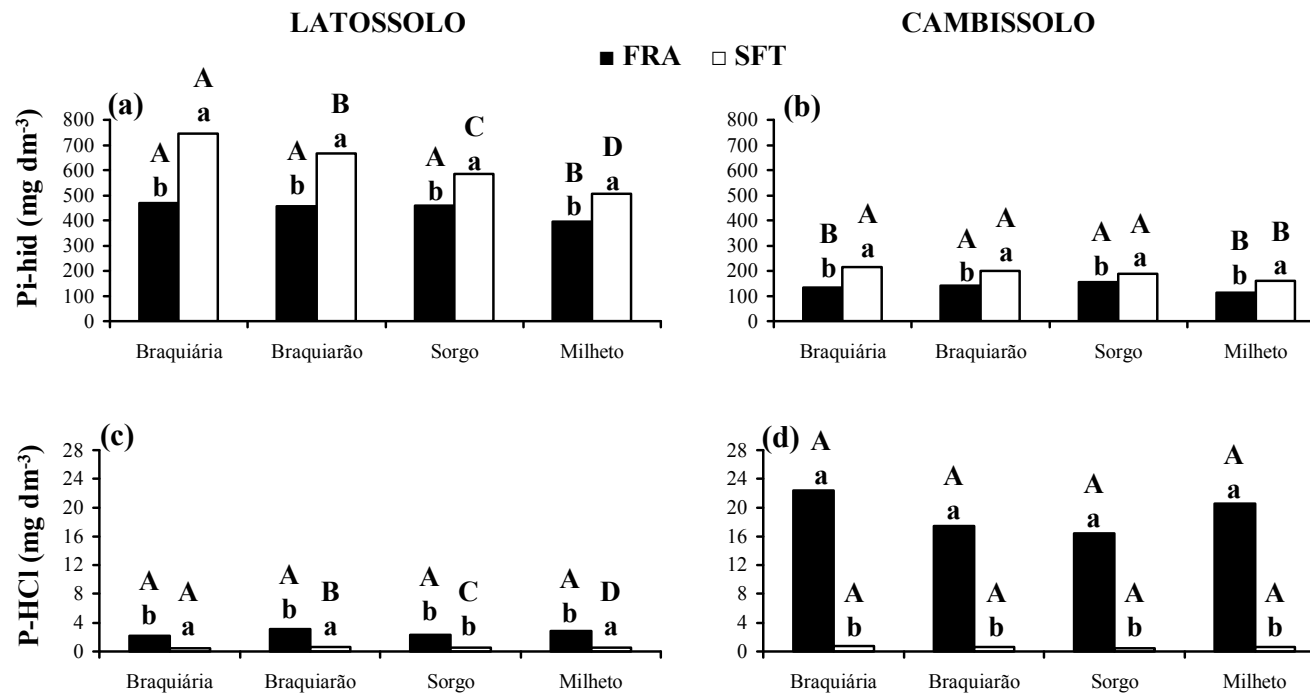


FIGURA 2 Teores de Pi-hidróxido (Pi-hid) e P-HCl após o cultivo das forrageiras adubadas com FRA e SFT, no Latossolo e no Cambissolo. Em cada solo, médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando as fontes de P para cada gramínea forrageira, e maiúscula, comparando as gramíneas forrageiras em cada fonte de P, não diferem entre si (Scott Knott 5%).

A dinâmica das transformações do P no solo após cultivo das plantas e adição de seus resíduos ainda é pouco conhecida e estudada na literatura internacional (Magid, 1993), e segundo Rheinheimer & Anghinoni (2001), desconhecida para solos da região Sul do Brasil, região essa, que já possui um grande histórico de pesquisa na área de fertilidade do solo.

Com relação aos teores de Pi-hid, que compreende o P ligado a óxidos de Fe e Al, observa-se na Figura 2 a e b, que no Latossolo, independente da fonte de P e da planta de cobertura, os teores dessa fração são superiores que os obtidos no Cambissolo. Esse efeito pode ser atribuído aos maiores teores de óxidos de Fe e Al no Latossolo que apresentam alta capacidade de imobilização de P (Tabela 1).

Comparando o tratamento sem cultivo com os tratamentos com o cultivo das forrageiras, no Latossolo, quando as plantas foram adubadas com o FRA, observa-se que após o cultivo do milho e do sorgo foi obtida diferença significativa, com redução dos teores de Pi-hid (Tabela 5). Esse resultado pode ser atribuído à maior absorção de P por essas espécies (Figura 3 a e b, Capítulo I), reduzindo o P disponível para precipitação e fixação com os óxidos de Fe e Al. No Cambissolo, quando aplicado o FRA, foi obtida diferença significativa entre o tratamento sem cultivo e após o cultivo do sorgo, que apresentou incremento na fração Pi-hid (Tabela 5). Como o sorgo adubado com o FRA, no Cambissolo, apresentou crescimento e acúmulo de P reduzido (Figuras 1 e 3 do Capítulo I), houve menor redução do “P disponível” adsorvido aos colóides e em equilíbrio com a solução do solo (Pi-bic) (Figura 1 d) e, com isso, maior disponibilidade e tempo de contato do P com o solo, favorecendo o processo de fixação, aumentando a fração Pi-hid. Segundo Novais & Smyth (1999), boa parte do P adicionado ao solo é retida com uma energia tal que seu equilíbrio com o P em solução desaparece passado à forma não lábil. Esse processo pode ser influenciado por vários fatores e um deles é o tempo de contato do

fertilizante com o solo. No presente trabalho, após o cultivo do sorgo adubado com FRA, no Cambissolo, devido à baixa absorção desse nutriente pela planta, pode ter ocorrido maior tempo de contato do P com o solo, favorecendo o processo de fixação.

Quando aplicado o SFT, no Latossolo, após o cultivo da braquiária e do braquiarão obteve-se aumento dos teores de Pi-hid em relação ao tratamento sem cultivo (Tabela 5). Esse aumento pode ser atribuído, também, à menor absorção do P por essas plantas (Figura 3 a do Capítulo 1), possibilitando maior quantidade de P disponível (P-resina e Pi-bic) (Figura 1 a e c) e com isso, maior tempo de contato do P adicionado com o solo favorecendo a precipitação com óxidos de Fe e Al (Pi-hid). No Cambissolo, quando aplicado o SFT, após o cultivo da braquiária e do braquiarão não foram obtidas diferenças significativa com o tratamento sem cultivo, e após o cultivo do sorgo e do milho obteve-se redução dos teores de Pi-hid (Tabela 4). As frações de P no solo estão em equilíbrio, e esse pode ser alterado conforme adição e retirada do P do sistema (Raij, 1991; Novais & Smyth, 1999). Sendo assim, a redução da fração Pi-hid após o cultivo do milho e do sorgo adubado com SFT no Cambissolo pode ser atribuída à maior absorção e acúmulo desse nutriente por essas plantas (Figura 3 a, Capítulo I), sendo que essa fração de P pode ser um componente do fator quantidade de P do solo. Vários autores relatam que a fração Pi-hid possui certa labilidade (Araújo et al., 1993; Tokura et al., 2002; Souza, 2005), ou seja, o P adsorvido aos colóides do solo pode estar alimentando o P em solução. Concordando ao observado por esses autores, no presente trabalho esse efeito pôde ser observado somente em solos mais arenosos.

Quanto ao efeito das fontes de P sobre a fração Pi-hid após o cultivo das forrageiras, observa-se que, quando aplicado o SFT, foram obtidos os maiores valores em ambos os solos (Figura 2 a e b). Avaliando o efeito das plantas sobre a fração Pi-hid, observa-se que, quando aplicado o FRA, após o cultivo do

milheto no Latossolo (Figura 2 a) e da braquiária e do milheto no Cambissolo (Figura 2 b), foram obtidos os menores valores. Quando as plantas foram adubadas com o SFT, para ambos os solos, os menores teores de Pi-hid, foram obtidos após o cultivo do milheto (Figuras 2 a b).

Vários autores relatam que a fração Pi-hid atua como dreno do P do solo, principalmente em solos com altos teores de Fe e Al e com baixo pH (Rheinheimer et al., 2000; Rheinheimer & Anghinoni, 2001; Tokura et al., 2002; Conte et al., 2003; Tokura, 2004; Santos 2005; Souza, 2005; Andrade, 2005). No entanto, essa fração pode apresentar certa labilidade (Araújo et al., 1993; Tokura et al., 2002), funcionando como tampão do fator quantidade do P do solo (Rheinheimer et al., 2000). Os autores ainda relatam que os métodos de análise para o P disponível do solo em uso no Brasil extraem uma pequena porção do “pool” do fósforo total do solo por desconsiderarem no planejamento da adubação a taxa de dessorção, ou seja, consideram somente o P disponível e não as formas que o tamponam.

O P-HCl, compreende o P ligado ao Ca (Walker & Syers, 1976) e de maneira geral, segundo Tokura et al. (2002), apresenta altos valores em áreas cultivadas devido a constante adição de calcário, ou em área com uso constante de fontes de P de baixa solubilidade como os fosfatos naturais reativos ou não. Na Figura 2 c e d, observa-se que para o FRA, no Cambissolo, foram obtidos os maiores valores de P-HCl em relação ao Latossolo, resultado esse que corrobora com a afirmativa de Tokura et al. (2002). Como já discutido, o Latossolo, por possui maior CTC potencial, apresenta maior fator dreno de Ca, em relação ao Cambissolo, e com isso favorece mais a dissolução do fosfato natural. Assim, no Latossolo, devido, provavelmente, a maior dissolução do FRA que no Cambissolo, apresenta menores teores da fração de P ligada ao Ca (P-HCl).

Comparando os valores de P-HCl obtidos nos tratamentos sem e com cultivo das forrageiras, observa-se alteração significativa somente quando

utilizado o FRA em ambos os solos, com exceção da braquiária no Cambissolo (Tabela 5).

Comparando o efeito das fontes de P, para ambos os solos após o cultivo das forrageiras os maiores valores de P-HCl foram obtidos quando aplicado o FRA (Figura 2 c e d). Com relação ao efeito das forrageiras, nenhum efeito foi observado no P-HCl, à exceção da braquiária no Latossolo adubado com FRA, que apresentou valor inferior às demais gramíneas.

De maneira geral os maiores valores de P-HCl foram obtidos com a aplicação do FRA, corroborando com Tokura et al. (2002). Na Figura 4 a e b do Capítulo I observa-se que, em geral, a maior eficiência das gramíneas na aquisição do P do FRA e a maior redução da fração P-HCl foi no Latossolo em relação ao Cambissolo (Figura 2 c e d). A redução da fração P-HCl, e aumento da eficiência das gramíneas de aquisição do P no Latossolo é atribuída à maior dissolução dessa fonte nesse solo, como já discutido.

3.2 Frações de P orgânico lábil e pouco lábil.

As formas orgânicas de P do solo compreendem uma forma lábil, Po-bic, e um forma pouco lábil, Po-hid. O Po-bic, corresponde ao P ligado a compostos orgânicos menos recalcitrantes, encontrando-se altos teores em sistemas com recém aporte de material orgânico, como sistema de plantio direto de poucos anos de adoção (Tokura et al., 2002). Já, o Po-hid, compreende o P ligado a compostos orgânicos mais recalcitrantes, sendo essa fração encontrada em altos teores em sistemas de plantio direto de longo tempo de adição (Tokura et al., 2002; Ball-Coelho et al. 1993; Tiessen et al., 1992). A fração de P ligado a compostos orgânicos está menos disponível para as plantas e envolve transformações em longo prazo (Bowman & Cole, 1978). Porém, segundo Motta (1999) e Tiessen et al. (1992) a fração Po-hid parece ser mais dinâmica que o

Po-bic, podendo estar relacionado com o ciclo de imobilização e mineralização pela microbiota do solo.

Para a fração Po-bic e Po-hid (Figura 3 a e b), observa-se que o Latossolo apresentou valores superiores aos obtidos no Cambissolo, independente do fertilizante fosfatado e da planta de cobertura cultivada. Raij (1991) e Moreira & Siqueira (2002), relatam que solos argilosos apresentaram maiores teores de matéria orgânica que os arenosos e, conseqüentemente, maiores teores de P ligado a compostos orgânicos. Esse efeito se deve a vários fatores, como maior proteção do solo à decomposição da matéria orgânica, ou seja, nos solos argilosos, a microestrutura protege a matéria orgânica reduzindo a taxa de decomposição.

Comparando os teores de Po-bic dos tratamentos sem cultivo e com cultivo das forrageiras, quando aplicado o FRA, observa-se que apenas no Latossolo a braquiária e o sorgo proporcionam aumento do Pó-bic (Tabela 6). Quando aplicado o SFT, o cultivo do sorgo e do milho no Latossolo e o cultivo do milho no Cambissolo promoveram redução dos teores de Po-bic em relação ao tratamento sem cultivo (Tabela 6). Duda (2002) observou redução significativa dos teores de P lábil ligado a compostos orgânicos após o cultivo da braquiária. O autor relata que essa fração de P compreende um dos componentes o fator quantidade de P do solo.

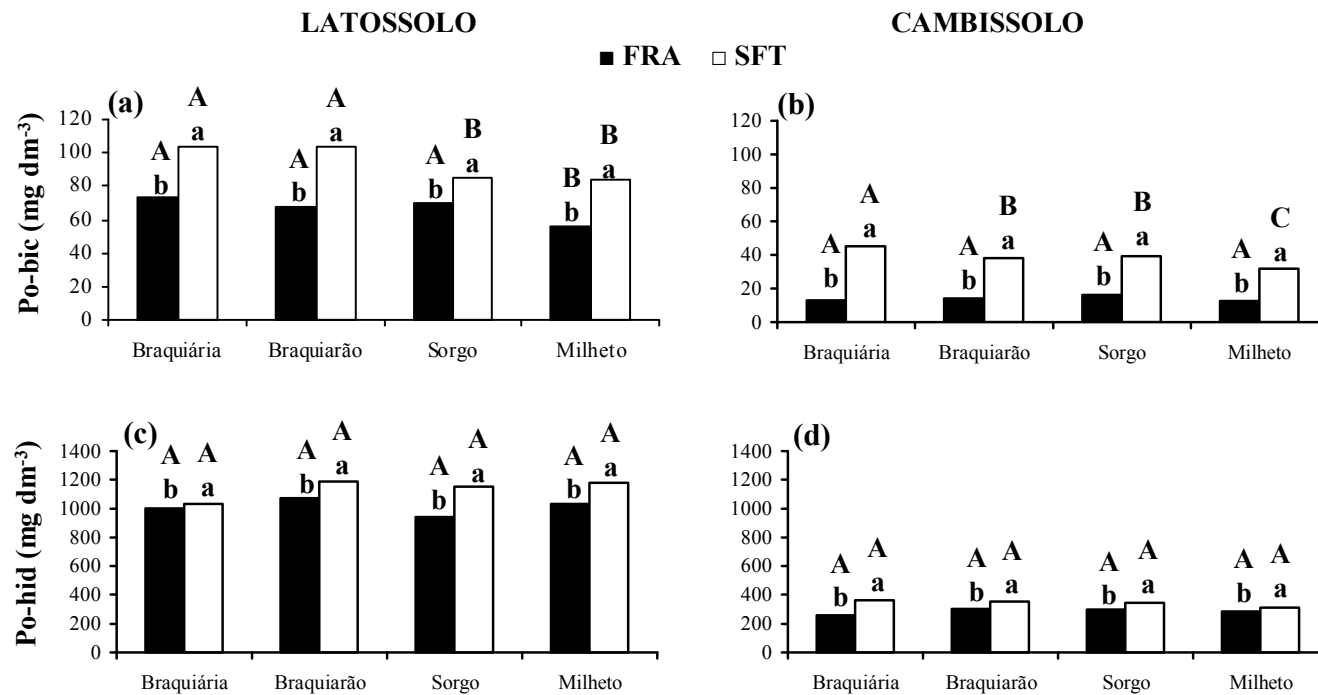


FIGURA 3 Teores de Po-bicarbonato (Po-bic) e Po-hidróxido (Po-hid) após o cultivo das forrageiras adubadas com FRA e SFT, no Latossoilo e no Cambissolo. Em cada solo, médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando as fontes de P para cada gramínea forrageira, e maiúscula, comparando as gramíneas forrageiras em cada fonte de P, não diferem entre si (Scott Knott 5%).

TABELA 6 Estimativa dos contrastes de médias para os teores de Po-bicarbonato(Po-bic) e Po-hidróxido (Po-hid) entre o tratamento sem cultivo e os tratamentos com cultivo das forrageiras de cobertura adubadas com SFT e FRA.

CONTRASTES	Latossolo		Cambissolo	
	Po-bic	Po-hid	Po-bic	Po-hid
	------(mg dm ⁻³)-----			
S/ Cultivo SFT – Braquiária SFT	-3,8 ^{ns1}	-187,7 ^{**}	-0,5 ^{ns}	581,2 ^{**}
S/ Cultivo SFT – Braquiarão SFT	-4,2 ^{ns}	-342,9 ^{**}	6,7 ^{ns}	588,9 ^{**}
S/ Cultivo SFT – Milheto SFT	15,6 ^{**}	-331,7 ^{**}	12,8 ^{**}	632,1 ^{**}
S/ Cultivo SFT – Sorgo SFT	14,6 ^{**}	-306,2 ^{**}	5,4 ^{ns}	599,2 ^{**}
S/ Cultivo FRA – Braquiária FRA	-10,6 ^{**}	-205,8 ^{**}	-2,1 ^{ns}	283,5 ^{**}
S/ Cultivo FRA – Braquiarão FRA	-5,5 ^{ns}	-275,1 ^{**}	-2,9 ^{ns}	243,3 ^{**}
S/ Cultivo FRA – Milheto FRA	6,7 ^{ns}	-234,8 ^{**}	-1,6 ^{ns}	257,2 ^{**}
S/ Cultivo FRA – Sorgo FRA	-8,1 [*]	-144,3 ^{**}	-5,3 ^{ns}	243,8 ^{**}

^{**}, ^{*}, ^{NS} – Significativo a 1, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de F.

¹ Os valores correspondem à diferença das médias entre o tratamento adicionais, sem cultivo, e os tratamentos com cultivo das forrageiras, adubados com SFT e o FRA. Quando negativos, a média obtida no tratamento com cultivo das forrageiras foi superior à média obtida no tratamento adicional, sem cultivo.

Em ambos os solos e para todas as forrageiras, a aplicação do SFT proporcionou maiores teores de Po-bic em relação ao FRA (Figura 3 a e b). Esse resultado pode ser atribuído à maior produção de biomassa das plantas quando adubadas com o SFT e também, a maior atividade da microbiota do solo quando adicionado o SFT, imobilizando parte do P solúvel oriundo do SFT na biomassa microbiana do solo.

Quando aplicado o FRA, no Latossolo, após o cultivo do milho foi obtido o menor valor de Po-bic (Figura 3 a) e no Cambissolo não foi obtida diferença significativa entre as plantas cultivadas (Figura 3 b). Quando aplicado o SFT os menores valores de Po-bic foram obtidos após o cultivo do sorgo e do milho, no Latossolo (Figura 3 a), e após o cultivo do milho no Cambissolo

(Figura 3 b). A redução da fração lábel de P ligado a compostos orgânicos (Po-bic) após o cultivo do sorgo e do milho, quando adubados com SFT, pode ser atribuída à maior eficiência dessas plantas na aquisição do P, como observado no Capítulo 1.

Para a fração Po-hid, comparando os valores obtidos nos tratamentos sem cultivo e com o cultivo das forrageiras observa-se comportamento distinto entre solos (Tabela 6). No Latossolo, para ambas as fontes de P, o cultivo das forrageiras aumentaram grandemente os teores da fração Po-hid e no Cambissolo, o comportamento foi contrário. Essa diferença pode estar relacionada com a maior e, ou, menor atividade da microbiota do solo. Com a aplicação das fontes de P e demais nutrientes no Latossolo pode ter favorecido maior atividade da microbiota do solo, com maior imobilização do P a compostos orgânicos mais estáveis. Provavelmente o Cambissolo apresenta menor resiliência, da atividade da microbiota, em relação ao Latossolo, ou seja, no Cambissolo as alterações no P ligado a compostos orgânicos são mais rápidas, sendo que o equilíbrio bioquímico desse solo pode ser alterado com mais facilidade. Assim, provavelmente, com a adição dos fertilizantes, tanto o SFT quanto o FRA pode ter ocorrido alteração no equilíbrio bioquímico do solo, favorecendo a mineralização do P ligado a compostos orgânicos. No entanto o que mais pode ter contribuído para a redução das frações Po-bic e Po-hid no Cambissolo seria a absorção de P pela planta e, conseqüentemente, como as formas orgânicas de P funcionam como fator quantidade de P do solo, pode ter alterado o equilíbrio bioquímico do solo favorecendo a mineralização e liberação do P para formas mais lábeis, como o P-resina e o Pi-bic. Observa-se na Figura 1 b e d, que os valores de P-resina e Pi-bic no Cambissolo, mesmo reduzindo após o cultivo das plantas, mantêm-se em níveis semelhantes aos obtidos no Latossolo (Figura 1 a e c). No entanto a fração Pi-hid, que também pode ser considerado como reserva de P do solo, no Cambissolo é muito baixa em

relação ao Latossolo (Figura 2 a e b). Sendo assim, as frações de P ligado aos compostos orgânicos no Cambissolo pode ser considerada o principal fator quantidade de P desse solo, enquanto no Latossolo, o equilíbrio P em solução é mantido não só pelas frações orgânicas como também pelo Pi-hid. Sob condições de campo, Seybold et al. (1999) relata que a transformação de Pi para Po em solos argilosos é mais difícil que em solos arenosos, devido à maior quantidade de sítios de adsorção nesses solos, conferindo assim aos solos argilosos, menor resiliência que os solos arenosos em relação à transformação do Pi para Po.

Semelhante ao observado para o Po-bic, para ambos os solos e todas as forrageiras, a aplicação do SFT promoveu maiores teores de Po-hid em relação ao FRA (Figura 3 c e d). Esse efeito pode ser atribuído a pronta solubilidade e alta disponibilidade de P desse fertilizante, favorecendo aumento da atividade microbiana no solo e, conseqüentemente, a imobilização do P disponível, o que corrobora com o relatado por Santos (2005). Em relação ao efeito do cultivo das gramíneas forrageiras sobre a fração Po-hid, não foram obtidas diferenças significativas entre as plantas para ambas as fontes de P e ambos os solos (Figura 3 c e d).

3.3 P residual

O P-residual compreende o P ocluso, retido por minerais estruturalmente livres de P como hematita, goethita e gibbsita (Smeck, 1985) e formas estáveis de P orgânico (Stewart et al., 1980), sendo considerada relativamente estável.

Mesmo sendo o Latossolo mais intemperizado e com maiores teores de óxidos de Fe e Al (Tabela 1 – Capítulo 2), esse apresentou valores de P-residual semelhantes aos obtidos no Cambissolo, antes da adição dos fertilizantes (Tabela 1) e após o cultivo das forrageiras (Figura 4).

Comparando os valores de P-residual dos tratamentos sem cultivo e com o cultivo das forrageiras, observa-se que no Latossolo, adubado com o FRA, houve redução significativa dessa fração de P com o cultivo das plantas. No Cambissolo, esse efeito foi observado após o cultivo da braquiária e do milho (Tabela 7). Quando aplicado o SFT, o cultivo da braquiária e do milho no Latossolo e o cultivo das quatro forrageiras no Cambissolo, promoveu aumento da fração P-residual (Tabela 7).

Avaliando o efeito das fontes de P sobre a fração P-residual, observa-se comportamento distinto entre os solos (Figura 4 a e b). No Latossolo não foi obtida diferença entre as fontes de P pelo cultivo das forrageiras (Figura 4 a). No Cambissolo, o cultivo da braquiária, do milho e do milho promoveu aumento nos valores de P-residual quando as plantas foram adubadas com FRA (Figura 4 b). Com relação ao efeito das gramíneas, observa-se que quando aplicado o SFT não foi observada diferença significativa em ambos os solos (Figura 4 a e b). Quando aplicado o FRA, no Latossolo, os menores valores de P-residual foram obtidos após o cultivo do milho e do milho (Figura 4 a), e no Cambissolo, os menores valores foram obtidos após o cultivo da braquiária e do braquiário. Tokura et al. (2002) relatam que o P-residual também compreende formas primárias de P mais resistentes, que o HCL 1 mol L⁻¹ não conseguiu extrair. Syers et al. (1968), consideram que o P-apatita, envolvido por quartzo, é incluído no P-residual. Assim, a alteração da fração P-residual somente quando as plantas foram adubadas com o FRA pode ser atribuída à absorção desse nutriente da solução do solo alterando o equilíbrio da equação da dissolução do fosfato natural, reduzindo, provavelmente, parte do P do FRA que é extraído na fração P-residual. No entanto, o comportamento foi distinto entre os solos. No Latossolo, o fator dreno de Ca juntamente com o fator dreno Ca da planta pode ter influenciado na redução da fração P-residual, principalmente após o cultivo do milho e do milho que são plantas mais exigentes nutricionalmente em

relação às plantas do gênero *Brachiaria*. Já, no Cambissolo, o efeito dreno Ca do solo é bem menor, evidenciando o efeito dreno de Ca da planta, e nesse sentido as plantas do gênero *Brachiaria* apresentaram maior eficiência na redução do P-residual, o que corrobora dos resultados apresentados no Capítulo 1, onde essas plantas apresentaram maior eficiência na aquisição do P oriundo do FRA quando cultivadas no Cambissolo.

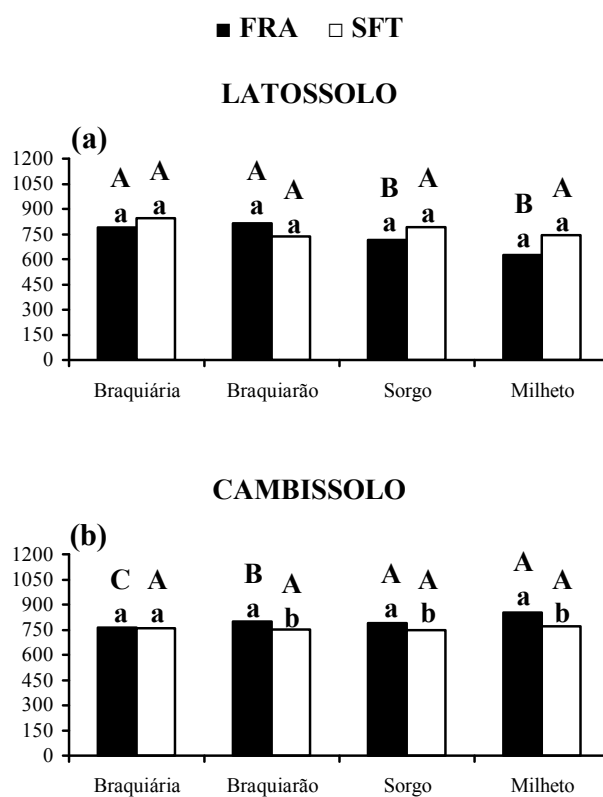


FIGURA 4 Teores de P-residual após o cultivo das forrageiras adubadas com FRA e SFT, no Latossolo e no Cambissolo. Em cada solo, médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando as fontes de P para cada gramínea forrageira, e maiúscula, comparando as gramíneas forrageiras em cada fonte de P, não diferem entre si (Scott Knott 5%).

TABELA 7 Estimativa dos contrastes de médias para os teores de P-residual (mg dm^{-3}) entre o tratamento sem cultivo e os tratamentos com cultivo das forrageiras de cobertura, nos solos estudados e adubados com SFT e FRA.

CONTRASTES	Latossolo	Cambissolo
	-----(mg dm^{-3})-----	
S/ Cultivo SFT – Brachiaria SFT	-105,8*	-44,4*
S/ Cultivo SFT – Brachiarão SFT	0,72 ^{ns}	-37,5*
S/ Cultivo SFT – Milheto SFT	-6,8 ^{ns}	-58,8**
S/ Cultivo SFT – Sorgo SFT	-52,7*	-35,3*
S/ Cultivo FRA – Brachiaria FRA	147,7**	49,6*
S/ Cultivo FRA – Brachiarão FRA	121,9*	11,2 ^{ns}
S/ Cultivo FRA – Milheto FRA	310,3**	41,2*
S/ Cultivo FRA – Sorgo FRA	222,3**	23,8 ^{ns}

**,* , ^{ns} – Significativo a 1, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de F.

¹ Os valores correspondem à diferença das médias entre o tratamento adicionais, sem cultivo, e os tratamentos com cultivo das forrageiras, adubados com SFT e o FRA. Quando negativos, a média obtida no tratamento com cultivo das forrageiras foi superior à média obtida no tratamento adicional, sem cultivo.

4 CONCLUSÕES

Os resultados do presente trabalho permitem concluir que:

- a aplicação do SFT proporcionou maior acúmulo das frações P inorgânico e orgânico lábeis e pouco lábeis (P-resina, Pi-bic, Po-bic, Pi-hid e Po-hid) e a aplicação do FRA maiores teores das frações de P ligado ao Ca (P-HCl) e P-residual.
- As forrageiras de cobertura influenciaram as formas de P do solo, em função do potencial de acúmulo de P de cada planta e das características químicas e mineralógicas dos solos.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ANDRADE, A.T. **Dinâmica do fósforo em solos de várzea cultivados com feijoeiro sob influência da calagem e adubação orgânica**. Lavras, UFLA, 2005. 117p. (Tese de Doutorado).

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

ARAÚJO, M.S.B.; SALCEDO, I.H.; SAMPAIO, E.V.S.B. Efeito da fertilização fosfatada anual em solos cultivados com cana-de-açúcar: I formas disponíveis e efeito residual do P. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa,, v.17, p.397-403, 1993.

BAHIA FILHO, A.F.C.; BRAGA, J.M.; RESENDE, M.; RIBEIRO, A.C. Relações entre adsorção e componentes mineralógicos da fração argila de latossolos do Planalto central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, n.3, p.221-226, set/dez. 1983.

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 American Journal**, Madison, v.57, n.4, p.1027-1034, July/Aug. 1993.

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

BERNARDI, A. C. C.; MACHADO, P. L. O. A.; FREITAS, P. L.; COELHO, M. R.; LEANDRO, W. M.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. P.; OLIVEIRA, R. P.; SANTOS, H. G.; MADARI, B. E.; CARVALHO, M. C. S. **Correção do solo e adubação no sistema de plantio direto nos cerrados**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 22 p. (Embrapa Solos. Documentos, 46).

BOLAN, N.S.; ELLIOTT, J.; GREGG, P.E.H.; WEIL, S. Enhanced dissolution of phosphate rocks in the rhizosphere. **Biol. Fertil. Soil**, v.24, p.169-174, 1997.

BORKET, C.M.; GAUDÊNCIO, C.A.; PEREIRA, J.E.; OLIVEIRA JUNIOR, A. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea de culturas de cobertura de solo para semeadura direta com rotação de culturas (compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., Brasília, 1999. **Anais...**Brasília: SBCS, EMBRAPA, CPAC, 1999.

BOWMAN, R.A. & COLE, C.V. An exploratory method for fractionation of organic phosphorus from grassland soils. **Soil Science**, Baltimore, v.125, p.95-101, Jan 1978.

CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D.S. Frações de fósforo acumuladas em latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.893-9000, 2003.

DOBERMANN, A.; GEORGE, T.; THEVS, N. Phosphorus fertilizer effects on soil phosphorus pools in acid upland soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.66, n.2, p.652-660, Mar./Apr. 2002.

DUDA, G.P. Variações nos teores de P inorgânico e orgânico após cultivo do solo com *Brachiaria decumbens* Stapf. . In: FERTBIO, 2002, Rio de Janeiro-RJ. **Resumos...** Rio de Janeiro-RJ: UFRRJ, 2002. (CD-ROM).

EMBRAPA, Embrapa Solos, Embrapa Informática Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.

GARCIA, R.; ROCHA, F.C.; BERNARDINI, F.S.; GOBBI, K.F. **Forrageiras utilizadas no sistema integrado agricultura-pecuária**. In: ZAMBOLIM, L.; SILVA, A.A. da; AGNES, E.L. Manejo Integrado: Integração Agricultura-Pecuária. Viçosa: UFV; DFP; DFT, 2004. p331-352.

GIAROLA, N. F. B. **Levantamento pedológico, perdas de solo e aptidão agrícola das terras na região sob influência do reservatório de Itutinga/Camargos (MG)**. Lavras, ESAL, 1994. 226p. (Dissertação de Mestrado).

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 American Journal**, Madison, v.46, n.5, p.970-976, Sep./Oct 1982.

HOROWITZ, N. & MEURER, E.J. Eficiência agronômica dos fosfatos naturais. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. **Fósforo na agricultura Brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p.665-688.

KORNDÖRFER, G.H. **Capacidade de fosfatos naturais e artificiais fornecerem fósforo para as plantas de trigo**. Porto Alegre, UFRGS, 62p., 1978 (Dissertação de Mestrado).

LARSEN, S. Soil phosphorus. **Advances in Agronomy**, New York, v.19, p.151-211, 1967.

LOPES, A.S. **Solos sob “Cerrado”**: características, propriedades e manejo. Piracicaba: POTAFOS, 1983. 162p.

MACEDO, M.C.M. Adubação fosfatada em pastagens cultivadas com ênfase na região do cerrado. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. **Fósforo na agricultura Brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p.359-400.

MAGID, J. Vegetation effects on phosphorus fractions in set-aside soils. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.149, n.1, p.111-113, 1993.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola**: adubos e adubação. 3.ed.. São Paulo: CERES, 1981, 596p.

MENEZES, L.A.; SOUTO JÚNIOR, M.L.; LEANDRO, W.M. Efeitos de coberturas verdes, com potencial de utilização em sistema de plantio direto, na variabilidade espacial de nutrientes no solo. In: FERTBIO, 2002, Rio de Janeiro-RJ. **Resumos...** Rio de Janeiro-RJ: UFRRJ, 2002. (CD-ROM).

MOREIRA, F.M. de S. & SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, 2002. 626p.

MOTTA, P.E.F. da. **Fósforo em Latossolos com diferentes mineralogias, cultivados e não cultivados: fracionamento, sorção e disponibilidade para soja e braquiária com e sem micorriza**. Lavras,UFLA, 1999. 156p. (Tese de Doutorado).

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. 146p 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.27, p.31-36, 1962.

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas-SP, v.20, n.3, p.407-414, 1996.

NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa:UFV, 1999.399p.

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

RESENDE, A.V. **Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do cerrado**. 2004. 169p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

RHEINHEIMER, D.S. & ANGHINONI, I. Distribuição de P inorgânico em sistemas de manejo de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.1, p.150-160, jan. 2001.

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, v24, n.2, p.345-354, abr./jun. 2000.

ROBERTS, T.L. & STEWART, J.W.B. **Uptake of residual fertilizer phosphorus in western Canadian soils**. Saskatonn: University os Saskatchewan, 1987. p.1-15. (Publication, 523).

ROBINSON, J.S. & SYERS, J.K. A critical evaluation of the factors influencing the dissolution of Gafsa phosphate rock. **Journal of Soil Science**, v.41, p.597-605, 1990.

ROBINSON, J.S. & SYERS, J.K. Effects of solution calcium concentration and calcium sink size on the dissolution of Gafsa phosphate rock in soils. **Journal of Soil Science**, v.42, p.389-397, 1991.

ROBINSON, J.S.; SYERS, J.K.; BOLAN, N.S. A simple conceptual model for predicting the dissolution of phosphate rock in soils. **J. Sci. Food Agric.**, v.64, p.397-403, 1994.

ROBINSON, J.S.; SYERS, J.K.; BOLAN, N.S. Importance of proton supply and calcium-sink size in the dissolution of phosphate rock materials of different reactivity in soil. **Journal of Soil Science**, v.43, p.447-459, 1992.

SANTOS, J.Z.L. **Frações de fósforo em solo da região do cerrado, adubados com fosfato em diferentes modos de aplicação e cultivado com milho.** Lavras, UFLA, 2005. 65p. (Dissertação de Mestrado).

SCHMIDT, J.P.; BUOL, S.W.; KAMPRATH, E.J. Soil phosphorus dynamics during seventeen years of continuous cultivations; fractionation analyses. **Soil Science Society of American Journal**, v.60, p.1168-1172, 1996.

SEYBOLD, C.A.; HERRICK, J.E.; BREJDA, J.J. Soil resilience: A fundamental component of soil quality. **Soil Science**, v.16, p.224-234, 1999.

SIDIRAS, N. & PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo de solo no nível de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas-SP, v.9, p.249-224, 1985.

SMECK, N.E. Phosphorus dynamics in soils and landscapes. **Geoderma**, Amsterdam, v.36, n.2, p.185-189, Nov. 1985.

SOUZA, R.F. de. **Dinâmica de fósforo em solos sob influência da calagem e adubação orgânica, cultivados com feijoeiro.** Lavras, UFLA, 2005. 141p. (Tese de Doutorado).

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

SYERS, J.K.; WILLIAMS, J.D.H.; WALKER, T.W. The determination of total phosphorus in soils and parent materials. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, Wellington, v.11, n.1, p.757-762, 1968.

TIESSEN, H.; SALCEDO, I.H.; SAMPAIO, E.V.S.B. Nutrients and soil organic matter dynamic under shifting cultivation in semi-arid northeastern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environments**, Amsterdam, v.38, p.139-159, 1992.

TOKURA, A.M.; FURTINI NETO, A.E.; CURTI, N.; FAQUIN, V.; KURIHARA, C.H.; ALOVISI, A.A. Formas de fósforo em solo sob plantio direto em razão da profundidade e tempo de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.10, p.1467-1476, out. 2002.

WALKER, T.W. & SYERS, J.K. The fate phosphorus during pedogenesis. **Geoderma**, Amsterdam, v.15, n.1, p.1-19, jan. 1976.

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

CAPÍTULO III

CRESCIMENTO E ACUMULO DE FÓSFORO PELA SOJA E FEIJOEIRO CULTIVADOS EM SUCESSÃO A DIFERENTES GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS ADUBADAS COM SUPER FOSFATO TRIPLO E FOSFATO REATIVO DE ARAD

RESUMO

RODRIGUES, Carlos Ribeiro. Crescimento e acúmulo de fósforo pela soja e feijoeiro cultivados em sucessão a diferentes gramíneas forrageiras adubadas com super fosfato triplo e fosfato reativo de arad. In: **___ Frações de fósforo e produção da soja e feijoeiro em sucessão a gramíneas adubadas com diferentes fertilizantes fosfatados**. 2005 113p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, MG¹.

O presente trabalho objetivou avaliar o efeito do cultivo prévio de diferentes gramíneas forrageiras adubadas com superfosfato triplo (SFT) e fosfato reativo de arad (FRA) sobre o crescimento, produção e acúmulo de P pela soja e feijoeiro. Foram realizados dois experimentos, um sob Cambissolo Háplico tb distrófico típico textura média e o outros sob Latossolo Vermelho distrófico típico textura muito argilosa. Para os dois experimentos o delineamento experimental foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial $4 \times 2 + 2$, sendo o cultivo prévio de quatro gramíneas forrageiras utilizadas como plantas de cobertura em sistema de plantio direto (*Brachiaria decumbens* – braquiária, *Brachiaria brizantha* – braquiarão, milho e sorgo forrageiro) adubadas com duas fontes de P (FRA e SFT) e dois tratamentos adicionais que é o cultivo da soja e do feijoeiro sem o cultivo prévio de plantas de cobertura e adubadas com SFT e FRA. As plantas foram colhidas após completar o ciclo de desenvolvimento. Durante a realização dos trabalhos as folhas senescentes das plantas foram colhidas e guardadas em sacos de papel para posterior análise. Foram determinadas a produção de grãos (PG) e de matéria seca de parte aérea (MSPA) e o acúmulo de fósforo na parte aérea e nos grãos da soja e do feijoeiro. As forrageiras imobilizaram o P do SFT, reduzindo o efeito residual para a soja e o feijoeiro. Quando as gramíneas forrageiras foram adubadas com o FRA, há um aumento do efeito residual, com aumento da produção da soja e do feijoeiro em sucessão às plantas de cobertura, com exceção para o cultivo das leguminosas em sucessão ao braquiarão.

¹Comitê Orientador: Prof. Valdemar Faquin – DCS/UFLA (Orientador), Carlos Alberto Silva – DCS/UFLA (Co-orientador)

ABSTRACT

RODRIGUES, Carlos Ribeiro. Growth and P accumulation by soybean and bean plant grown in succession to different forage grasses fertilized with triple superphosphate and reactive arad phosphate. In **___ Phosphorus fractions and soybean and bean yield in succession to grasses fertilized with different phorphorus source**. 2005. 113p. Thesis (Doctorate in soils and plant nutrition) – Federal University of Lavras, MG¹.

The present work aimed to evaluate the effect of the previous cultivation of different forage grasses fertilized with triple superphosphate (SFT) and reactive arad phosphate (FRA) on the growth, yield and accumulation of P in soybean and bean plants. Two experiments were conducted, one under a Inceptisol (*Cambisol*) and the other under Oxisol (*Latosol*). For both experiments, the experimental design chosen was the completely randomized in a 4 x 2 + 2 factorial scheme; the treatments consisted of four forage grasses utilized as cover plants in no-tillage system (*Brachiaria decumbens* – brachiaria, *Brachiaria brizanta* – braquiaraço, millet and forage sorghum) fertilized with two sources of P (FRA and SFT) and two additional treatments, represented by the by the plots cultivated with soybean and bean plants without the previous growing of cover plants and fertilized with SFT and FRA. The plants were harvested after they had completed the development cycle. Senescent leaves of the plants were kept in paper bags for further analysis. Grain and shoot dry matter yield and P accumulation in the shoot and in the grains of soybean and bean plant were determined. The forage plants immobilized the P of SFT, reducing the residual effect of this fertilizer to the soybean and bean plants. When the forage grasses are fertilized with FRA, there is increased residual effect with increasing yield of soybean and bean in succession to the cover plants with the exception of the of legumes grown in succession to *Brachiaria brizanta*.

¹Guidance Committee: Prof. Valdemar Faquim – DCS/UFLA (adviser), Carlos Alberto Silva –DCS/UFLA (Co-adviser)

1 INTRODUÇÃO

Uma das maiores dificuldades de se instalar o Sistema de Plantio Direto (SPD) no cerrado tem sido a escolha de culturas de inverno para manutenção da palhada. Aliado a esse fator, o manejo da adubação fosfatada nessa região, também, é muito complexo, sendo o solo o dreno preferencial para o ânion fosfato, o que compete fortemente com o dreno planta pelo nutriente, reduzindo a produtividade das culturas.

Assim, a integração lavoura-pecuária, que preconiza a combinação de pastagens de gramíneas e de leguminosas, além de outras culturas anuais, apresenta-se como uma alternativa para a sustentabilidade da produção agrícola e pecuária no cerrado. Nesse sistema, as pastagens atuam por períodos prolongados, permitindo que as gramíneas desenvolvam sistema radicular extenso e com constante renovação e as leguminosas no verão induzindo a taxa de decomposição do material vegetal pela baixa relação C/N, disponibilizando os nutrientes (Capernedo & Mielniczuk, 1990). Espécies como milheto, braquiária e sorgo forrageiro tem demonstrado importante papel na integração lavoura pecuária, aumentando a produção de palhada na região do cerrado, especialmente na região do Triângulo Mineiro (Lange et al., 2004). A escolha da cultura de inverno deve ser feita no sentido de obter grande quantidade de biomassa, sendo que forrageiras, gramíneas e leguminosas, anuais ou semi-perenes, são apropriadas para essa finalidade. A utilização um sistema de rotação, de plantas fixadoras de nitrogênio com plantas que possuem sistema radicular que explora um grande volume do solo como as gramíneas, é preferido, pois promovem uma reciclagem mais eficiente dos nutrientes no solo.

O aumento da deposição de resíduos vegetais na superfície do solo e ausência de revolvimento resultam em complexas modificações na fertilidade do

solo no SPD. Há um aumento considerável nos teores dos nutrientes, principalmente o P, em superfície, devido à deposição de material vegetal (Menezes, 2002). Sendo que, as aplicações anuais de fertilizantes fosfatados, a liberação de P durante a decomposição dos resíduos vegetais e a redução da adsorção específica do P em decorrência do menor contato do nutriente com os constituintes inorgânicos do solo, resultam na acumulação superficial desse nutriente em sistema de plantio direto (Muzilli, 1996; Sidiras & Pavan, 1985). Além disso, a decomposição da matéria orgânica dos resíduos vegetais formam compostos orgânicos que competem pelos mesmos sítios de adsorção do P, aumentando a disponibilidade para as plantas. Outro efeito e a capacidade desses compostos orgânicos em formarem complexos estáveis com alumínio e ferro, reduzindo a precipitação do P.

Atualmente a adubação fosfatada em SPD é feita totalmente em superfície e com uso de fontes solúveis com o Super Fosfato Triplo (SFT), Super Fosfato Simples (SFS) e Monoamônio Fosfato (MAP). E recentemente tem sido avaliado fontes reativas, como o Fosfato de Arad. Esses fosfatos, além de apresentarem custo inferior, apresentam, no primeiro ano, resultados de produção semelhante aos obtidos com as fontes solúveis (Rajan et al., 1996).

O uso de plantas de cobertura eficientes em reciclar o P também vem sendo estudado, principalmente espécies utilizadas como forrageiras na região Sul do país, como aveia-preta, mucuna preta, ervilhaca e tremoço. No entanto, Borket et al (1999) demonstraram que nenhuma dessas plantas apresentou potencial para reciclagem do P. O uso do SPD em solos sob ecossistema cerrado foi possível, segundo Bernardi et al. (2003), devido à utilização de plantas de cobertura com alto potencial de produção de biomassa, como o milho, capim pé-de-galinha e recentemente, com a maior divulgação e utilização do sistema Santa Fé e Integração Agricultura Pecuária, o uso de plantas do gênero *Brachiaria*. No entanto são raros os estudos que avaliam o efeito do cultivo

dessas espécies sobre as frações de P do solo, a eficiência na reciclagem de P e, conseqüentemente, a disponibilidade desse nutriente para as culturas subseqüentes. Recentemente Francisco (2002) e Seguatelli (2004) avaliaram a produtividade da soja em semeadura direta com antecipação da adubação fosfatada na cultura de *Eleusine coracana* (L.) Gaertn. (Capim pé-de-galinha). Esses autores relatam que, sob as condições em que foram instalados os experimentos, a adubação fosfatada da soja antecipada para o capim pé-de-galinha, além de proporcionar maior produção de fitomassa da planta de cobertura, não alterou a produção de grãos da soja, o que beneficia o sistema implantado, e não só a cultura de verão. Broch (1997), Broch et al. (1997), Broch (2000), Pitol et al. (2001) e Kluthcouski & Stone (2003) relatam que em diversas áreas sob ecossistema cerrado no Mato Grosso do Sul e no estado de Goiás a soja e o feijoeiro apresentaram maiores produções sobre palhada de plantas do gênero *Brachiaria*, principalmente a em sucessão à *Brachiaria brizantha*. Kluthcouski & Stone (2003) relatam que o principal benefício do braquiário é proporcionar melhor distribuição do sistema radicular da cultura subseqüente.

Nesse sentido, o presente projeto tem o objetivo de avaliar o efeito do cultivo prévio de diferentes gramíneas forrageiras adubadas com superfosfato triplo e fosfato reativo de arad sobre o crescimento, produção e acúmulo de P pela soja e feijoeiro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas amostras (0-20 cm) dos solos Cambissolo Háplico tb distrófico típico textura média e Latossolo Vermelho distrófico típico textura muito argilosa. O primeiro solo foi coletado no município de Nazareno-MG e o segundo no Campus da UFLA, Lavras-MG.

Foram realizados dois experimentos em cada solo, sendo um com o cultivo da soja e outro com o do feijoeiro cultivados em vasos de cinco dm³ de capacidade contendo quatro dm³ de solo. Inicialmente, foram cultivadas gramíneas forrageiras como plantas de cobertura, adubadas com fontes de P de diferentes solubilidades e, posteriormente, nos mesmos vasos, foram cultivadas em sucessão a soja e o feijoeiro, sobre a palhada das forrageiras.

Tanto para o cultivo da soja quanto para o do feijoeiro, em ambos os solos o delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 2 + 2, sendo os quatro tratamentos de cobertura dos solos, representadas pelo cultivo prévio das quatro forrageiras (*Braquiária decumbens* – braquiária, *Braquiária brizantha* – braquiarão, milheto e sorgo forrageiro), duas fontes de P (Superfosfato triplo - SFT e Fosfato reativo de arad - FRA) e mais dois tratamentos adicionais. Os tratamentos adicionais foram representados pelos dois solos adubados com as fontes de P, na mesma época dos tratamentos com as gramíneas de cobertura, mas que não foram cultivados, permanecendo, portanto, em pousio durante o cultivo prévio das gramíneas forrageiras. Foram utilizadas quatro repetições para todos os tratamentos.

As amostras dos solos foram secas ao ar e peneiradas em malha de quatro mm de abertura. Após, subamostras foram tomadas para caracterizações física, química, mineralógica e das formas de P (Tabela 1).

TABELA 1 Caracterizações química e física e frações de P do Latossolo Vermelho distrófico típico e Cambissolo Háplico Tb distrófico típico antes da aplicação dos tratamentos.

Atributos	Latossolo	Cambissolo
pH H ₂ O (1:2,5)	4,7	5,4
P (mg dm ⁻³)	0,9	0,6
K (mg dm ⁻³)	20,0	20,0
Ca (cmol _c dm ⁻³)	0,6	0,7
Mg (cmol _c dm ⁻³)	0,2	0,2
Al (cmol _c dm ⁻³)	1,1	0,7
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	7,0	2,3
SB (cmol _c dm ⁻³)	0,9	1,0
(t) (cmol _c dm ⁻³)	2,0	1,7
(T) (cmol _c dm ⁻³)	7,9	3,3
V (%)	10,8	29,2
M (%)	56,0	42,0
MO (dag kg ⁻¹)	4,9	2,1
P-rem (mg dm ⁻³)	10,2	25,2
Areia (dag kg ⁻¹)	21,0	55,0
Silte (dag kg ⁻¹)	9,0	16,0
Argila (dag kg ⁻¹)	70,0	29,0
Classe Textural	Muita Argilosa	Média
SiO ₂ (g kg ⁻¹)	129,8	144,0
Al ₂ O ₃ (g kg ⁻¹)	319,1	155,0
Fe ₂ O ₃ (g kg ⁻¹)	171,8	23,0
TiO ₂ (g kg ⁻¹)	22,0	3,0
P ₂ O ₅ (g kg ⁻¹)	0,9	0,1
Ki (SiO ₂ /Al ₂ O ₃)	0,41	1,57
Kr	0,26	1,43
	Fracionamento ²	
P-resina (mg dm ⁻³) ³	3,1	1,9
Pi-bic (mg dm ⁻³)	87,9	5,9
Po-bic (mg dm ⁻³)	1,1	0,2
Pi-hid (mg dm ⁻³)	243,4	50,1
Po-hid (mg dm ⁻³)	909,6	537,9
P-HCl (mg dm ⁻³)	6,3	9,0
P-residual (mg dm ⁻³)	884,0	683,7
P-total (mg dm ⁻³)	2.135,4	1.288,6

P e K – Extrator Mehlich I; Ca, Me e Al – Extrator KCl 1N; H+Al – Extrator SMP; SB – Soma de Bases; (t) – CTC efetiva; (T) – CTC potencial (a pH 7,0); V – saturação por bases; m – saturação por alumínio; P-rem – Fósforo remanescente; MO – oxidação Na₂Cr₂O₇ 4N + H₂SO₄ 10N (Embrapa, 1999).

¹Resultados da análise mineralógica dos solos apresentados, para o Cambissolo, por Giarola (1994) e, para o Latossolo, (Souza, 2005).

²Extração sequencial segundo Hedley et al. (1982) e determinação segundo Murphy & Riley (1962).

Com base nas análises químicas, foi efetuada a calagem nos solos visando elevar a saturação por bases à 50%, utilizando-se um calcário dolomítico calcinado e micropulverizado, com 35% de CaO, 14% de MgO e PRNT = 100%.

Após incubação dos solos por 20 dias em umidade próxima à 60% do volume total de poros (VTP), as fontes de fósforo (SFT e FRA) foram incorporadas nos quatro dm³ de solo do vaso, nas doses de 150 e 250 mg dm⁻³ de P para o Cambissolo e Latossolo, respectivamente, considerando o teor de P total das fontes (Tabela 2). Antes de ser incorporado aos solos, o SFT foi moído em granulometria aproximada ao FRA. Pretendeu-se para as duas fontes (SFT e FRA), aplicar doses de P menores que as adequadas, segundo recomendadas por Alvarez V. & Fonseca (1990) para ensaios em vasos, visando avaliar a capacidade das forrageiras de cobertura e das leguminosas em sucessão, em aproveitar o P aplicado aos solos. Assim, o Latossolo sendo mais argiloso e com características mineralógicas mais favoráveis à fixação de P, recebeu dose maior do nutriente. Nessa mesma época, foi efetuada uma adubação básica com 80 mg de N, 80 mg de K, 60 mg de S, 0,5 mg de B, 1,5 mg de Cu e 5 mg de Zn por dm³ de solo, sob a forma de solução nutritiva. Foram utilizadas as fontes p.a.: (NH₄)₂SO₄, KNO₃, NH₄NO₃, H₃BO₃, CuSO₄.5H₂O e ZnSO₄.7H₂O.

TABELA 2 Composição química e física dos fertilizantes fosfatados.

Fonte	P ₂ O ₅ Total	P ₂ O ₅ solúvel			CaO	Granulometria
		água	CAN+água	Cítrico ¹		
SFT	46,1	38,8	46,1	-	13,0	Granulado
FRA	33,1	-	-	9,4	37,0	Farelado

¹Ácido cítrico a 2% (1:100)

Após a aplicação dos tratamentos foram retiradas subamostras dos tratamentos nos dois solos para análise química e das frações de P (Tabela 3).

TABELA 3 Atributos químicos e frações de P do Latossolo Vermelho distrófico típico e Cambissolo Háplico Tb distrófico típico após a aplicação dos tratamentos.

Atributos	Latossolo		Cambissolo	
	SFT	FRA	SFT	FRA
pH H ₂ O (1:2,5)	5,2	5,1	5,3	5,4
P (mg dm ⁻³)	30,9	108	45,9	96,9
K (mg dm ⁻³)	90	86	76,0	86
Ca (coml _c dm ⁻³)	2,9	2,9	1,3	1,6
Mg (coml _c dm ⁻³)	1,0	1,0	0,7	0,3
Al (coml _c dm ⁻³)	0,3	0,2	0,2	0,2
H+Al (coml _c dm ⁻³)	5,6	5,6	2,1	1,9
SB (coml _c dm ⁻³)	4,1	4,1	2,2	2,1
(t) (coml _c dm ⁻³)	4,3	4,3	2,4	2,3
(T) (coml _c dm ⁻³)	9,7	9,7	4,3	4,0
V (%)	42,4	42,4	51,0	52,7
m (%)	7,0	5,0	8,0	9
MO (dag kg ⁻¹)	4,8	4,8	2,2	0,9
P-rem (mg dm ⁻³)	10,9	9,7	26,8	25,2
P-resina (mg dm ⁻³)	76,2	58,1	87,4	53,2
	Fracionamento ¹			
P-resina (mg dm ⁻³)	87,6	76,0	77,8	52,7
Pi-bic (mg dm ⁻³)	34,5	7,5	40,9	6,6
Po-bic (mg dm ⁻³)	99,4	62,4	44,7	11,0
Pi-hid (mg dm ⁻³)	597,6	483,4	116,8	129,9
Po-hid (mg dm ⁻³)	846,3	797,9	545,3	544,1
P-HCl (mg dm ⁻³)	0,6	11,6	0,8	26,3
P-residual (mg dm ⁻³)	739,2	936,6	616,1	611,1
P-total (mg dm ⁻³)	2405,2	2375,3	1442,4	1381,8

P e K – Extrator Mehlich I; Ca, Me e Al – Extrator KCl 1mol L⁻¹ H+Al – Extrator SMP; SB – Soma de Bases; (t) – CTC efetiva; (T) – CTC potencial (a pH 7,0); V – saturação por bases; m – saturação por alumínio; P-rem – Fósforo remanescente; MO – oxidação Na₂Cr₂O₇ 0,67 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 5 mol L⁻¹ (Embrapa, 1999).

² Extração sequencial segundo Hedley et al. (1982), modificado por Tokura et al (2002) e determinação segundo Murphy & Riley (1962). Extração sequencial com resina (P-resina); NaHCO₃ 0,1 mol L⁻¹ inorgânico (Pi-bic) e orgânico (Po-bic); NaOH 0,1 mol L⁻¹ + NaOH 0,5 mol L⁻¹ inorgânico (Pi-hid) e orgânico (Po-hid); HCl (P-HCl); H₂SO₄ + H₂O₂ (P-residual) e a somatória de todas as frações (P-total).

Em seguida, foram semeadas 10 sementes por vaso de cada forrageira e desbastadas para quatro plântulas uma semana após emergência. Durante o cultivo, as forrageiras receberam adubações nitrogenada e potássica em cobertura, aplicando-se 400 mg dm^{-3} de cada nutriente para a *B. brizantha* e *B. decumbens* e 500 mg dm^{-3} de cada nutriente para o sorgo e milho, parceladas em sete aplicações. A umidade do solo foi mantida a 60% do VTP, através da pesagem dos vasos e adição de água deionizada. Os vasos correspondentes às repetições do tratamento sem cultivo de forrageiras de cobertura, receberam apenas as adubações com as fontes de P e suas umidades também foram mantidas a 60% do VTP durante todo o período.

As forrageiras de cobertura foram cultivadas até o pré-florescimento, quando a parte aérea foi cortada a dois cm da superfície do solo. A parte aérea das forrageiras foi seca em estufa a $65\text{-}70^\circ\text{C}$ para a obtenção da palhada que foi utilizada como cobertura para o cultivo subsequente da soja e do feijoeiro. Após secas em estufa as amostras da parte aérea das forrageiras foram picadas em pedaços de três a cinco centímetros, sendo aplicadas na superfície dos solos dos vasos correspondentes, na dose de 8 t ha^{-1} de matéria seca (Corrêa et al., 2004), correspondendo $27,7 \text{ g vaso}^{-1}$ (raio de 10,5 cm).

Após a deposição da palhada nos vasos, foi efetuada adubação básica na forma de solução nutritiva com 70 mg de N, 50 mg de K, 30 mg de S, 0,5 mg de B, 1,5 mg de Cu e 5 mg de Zn por dm^3 , usando as mesmas fontes p.a. citadas para as forrageiras.

Em seguida foram semeadas 10 sementes de soja e 10 sementes de feijão, sendo desbastadas para duas plântulas uma semana após a emergência. Até a fase de florescimento da soja e do feijoeiro, foram aplicados em cobertura 230 mg de N, 200 mg de K e 30 mg de S por dm^3 , parcelados em cinco aplicações. Durante todo o período experimental, a umidade do solo foi mantida a 60% do VTP através de pesagem dos vasos e adição de água deionizada.

A colheita da soja e do feijoeiro foi feita no final do ciclo, secando-se o material vegetal em estufa a 65-70°C, para a obtenção do peso de matéria seca da parte aérea, de grãos.

Na parte aérea e nos grãos da soja e do feijoeiro, foram realizadas análise química para o P, através da digestão nítrico-perclórica, com leitura colorimétrica da concentração no extrato, de acordo com Malavolta et al. (1997). Relacionando os teores de P com a matéria seca produzida, foram determinados o acúmulo de P na parte aérea e nos grãos da soja e do feijoeiro.

Os dados experimentais: matéria seca de parte aérea (MSPA), produção de grãos (PG), acúmulo de P na parte aérea e nos grãos da soja e do feijoeiro foram submetidos à análise de variância e testes de média com auxílio do programa estatístico SISVAR[®]. As médias dos tratamentos componentes do fatorial foram comparadas entre si pelo teste de Scott Knott ($P \leq 0,05$). As médias dos tratamentos adicionais foram comparadas com as médias dos tratamentos do fatorial por contraste ($P \leq 0,05$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Crescimento, produção e acúmulo de P pela soja

Em geral a produção de grãos (PG) e de matéria seca de parte aérea (MSPA) da soja foi maior no Latossolo (Figura 1 a, b, c e d).

Na Tabela 4, observa-se que quando aplicado o FRA, no Latossolo, a PG da soja cultivadas em sucessão às forrageiras foi semelhante à PG da soja cultivada no tratamento de cultivo de planta de cobertura. Já no Cambissolo, a PG da soja em sucessão à braquiária, milheto e sorgo, foi superior à PG da soja cultivada no tratamento sem cultivo. Esse resultado corrobora com a afirmativa de Magalhães (1984) e Goedert (1983), onde relatam que o efeito residual do P oriundo de fontes de baixa solubilidade e mais intenso em solos arenosos. Outro resultado que apóia essa afirmativa são os altos valores da fração de P ligada a Ca (P-HCl) (Figura 2, Capítulo II) no Cambissolo após o cultivo das forrageiras. Na Tabela 5 do Capítulo II, observa-se que o braquiarão, sorgo e milheto adubados com FRA, no Cambissolo, reduziram os teores da fração P-HCl em relação ao tratamento sem cultivo, sendo que o braquiarão, conforme dados apresentados na Figura 4 do Capítulo I, foi a planta que mostrou-se mais eficiente na aquisição do P fornecido pelo FRA. No entanto, como a soja foi semeada e cultivada logo após o corte das forrageiras, esse tempo não foi suficiente para a decomposição e mineralização do P da palhada das forrageiras. Moraes (2001) apresenta a taxa de mineralização do P da palhada do milheto e sorgo, onde 93 e 88%, respectivamente, do nutriente acumulado em cada palhada era liberado após 168 dias após deposição, e que seria necessário 182 e 183 dias para a mineralização completa de todo o P da palhada do milheto e sorgo, respectivamente. O autor ainda relata que a taxa média de mineralização do P da palhada do milheto e sorgo foram 0,100 e 0,102 kg ha⁻¹ dia⁻¹.

Kluthcouski & Stone (2003) relata que a palhada de plantas do gênero *Brachiaraia* apresentam alta longevidade, onde após 120 dias após a dissecação ainda apresentava cobertura completa do solo e com 10,2 t ha⁻¹ de palha. Ou seja, o período de cultivo da soja, não foi suficiente para a mineralização do P na palhada.

TABELA 4 Estimativa dos contrastes de médias para a produção de grãos (PG) (g planta⁻¹) e matéria seca de parte aérea (MSPA) (g planta⁻¹) da soja entre o tratamentos sem cultivo prévio das forrageiras de cobertura e os tratamentos com cultivo de cobertura adubadas com SFT e FRA.

CONTRASTES	Latossolo		Cambissolo	
	Grãos	MSPA	Grãos	MSPA
------(g vaso ⁻¹)-----				
S/ Cultivo SFT – Braquiária SFT	13,82 ^{**1}	14,99 ^{**}	11,40 ^{**}	14,33 ^{**}
S/ Cultivo SFT – Braquiarião SFT	15,60 ^{**}	17,21 ^{**}	14,54 ^{**}	15,83 ^{**}
S/ Cultivo SFT – Milheto SFT	17,98 ^{**}	10,35 ^{**}	12,84 ^{**}	7,10 [*]
S/ Cultivo SFT – Sorgo SFT	17,16 ^{**}	18,75 ^{**}	11,56 ^{**}	10,25 ^{**}
S/ Cultivo FRA – Braquiária FRA	-2,62 ^{ns}	-21,26 ^{**}	-8,52 ^{**}	-16,44 ^{**}
S/ Cultivo FRA – Braquiarião FRA	5,64 [*]	-9,63 ^{**}	0,60 ^{ns}	-17,85 ^{**}
S/ Cultivo FRA – Milheto FRA	-4,37 ^{ns}	-21,01 ^{**}	-13,78 ^{**}	-24,80 ^{**}
S/ Cultivo FRA – Sorgo FRA	-3,04 ^{ns}	-24,70 ^{**}	-16,07 ^{**}	-16,02 ^{**}

^{**}, ^{*}, ^{ns} – Significativo a 1, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de F.

¹ Os valores correspondem à diferença das médias entre o tratamento adicionais, sem cultivo, e os tratamentos com cultivo das forrageiras, adubados com SFT e o FRA. Quando negativos, a média obtida no tratamento com cultivo das forrageiras foi superior à média obtida no tratamento adicional, sem cultivo.

Quando aplicado o FRA, no Latossolo somente em sucessão ao braquiarião a soja apresentou redução significativa da PG e, no Cambissolo, somente em sucessão ao braquiarião a produção não foi superior (Tabela 4). Ou seja, quando as forrageiras foram adubadas com o FRA, em ambos os solos a

produção da soja em sucessão ao braquiário foi inferior à produção da soja em sucessão as demais plantas (Figura 1 a e b).

Na Figura 1 a e b observa-se variação significativa da PG da soja em função da fonte de P somente em sucessão ao braquiário, sendo a menor produção quando aplicado o FRA. Observa-se na Tabela 4, que após o cultivo do braquiário adubado com o FRA, os atributos químicos do solo são semelhantes aos demais tratamentos, não apresentando grande variação. A baixa produção da soja em sucessão ao braquiário pode estar relacionada a algum efeito da constituição química da palhada, no entanto, os dados do presente trabalho não dão suporte a essa discussão.

Devido ao melhor distribuição do sistema radicular do braquiário esse proporciona melhor distribuição da matéria orgânica e conseqüentemente melhor distribuição do nutriente reciclado (Kluthcouski & Stone, 2003). No presente trabalho, quando adubado com o FRA, o braquiário, no Latossolo, apresentou a menor resposta em crescimento de raiz em relação às demais forrageiras e, no Cambissolo, o segundo menor rendimento em crescimento de raiz (Figura 2 Capítulo 1).

Quando aplicado o SFT não observou-se influência do cultivo prévio das plantas de cobertura sobre a PG da soja em ambos os solos. Quando as forrageiras foram adubadas com o FRA, a menor produção da soja foi obtida quando cultivada em sucessão ao braquiário (Figura 1 a e b).

Comparando a MSPA da soja no tratamento sem e com cultivo das forrageiras observa-se que quando aplicado o FRA, em ambos os solos, a soja apresentou maior MSPA em sucessão às forrageiras evidenciando o efeito residual do FRA. Quando aplicado o SFT, a MSPA da soja em sucessão às forrageiras foi inferior ao obtida no tratamento sem cultivo (Tabela 4).

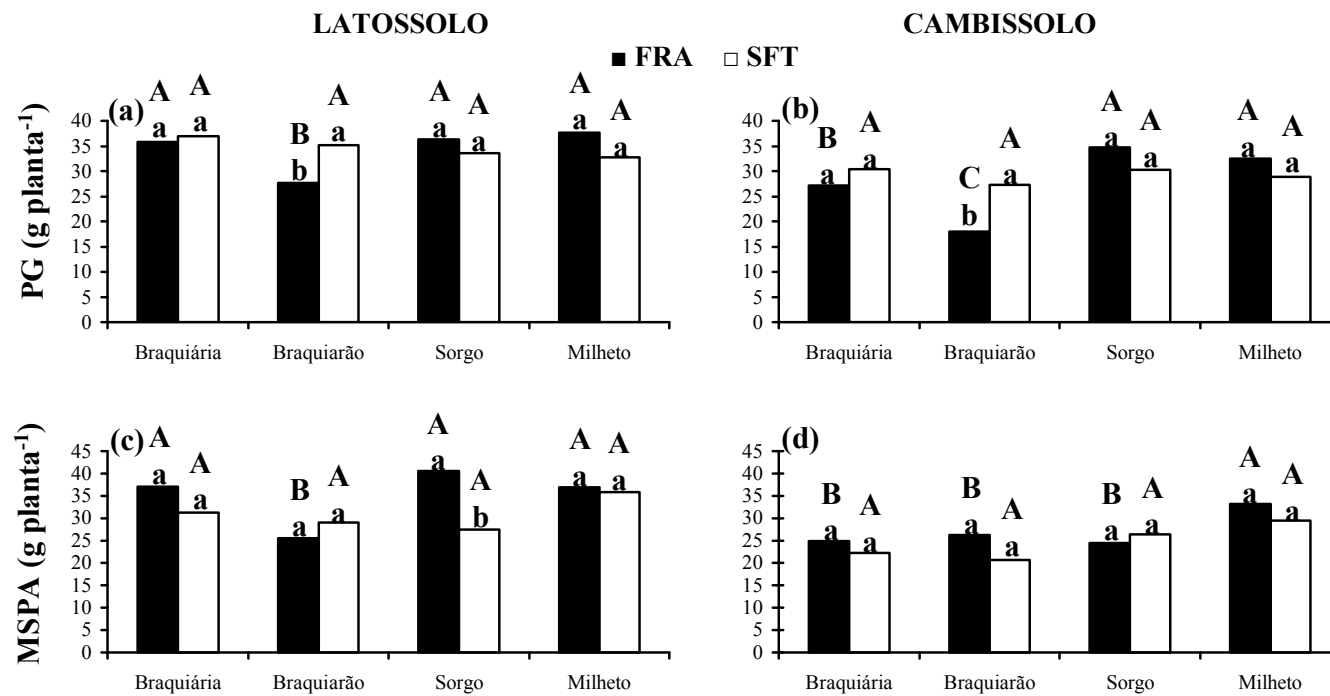


FIGURA 1 Produção de grãos (PG) (a b) e de matéria seca de parte aérea (MSPA) (c d) da soja cultivada em sucessão a plantas de cobertura adubadas com SFT e FRA, no Latossolo e no Cambissolo. Em cada solo, médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando as fontes de P para cada gramínea forrageira, e maiúscula, comparando as gramíneas forrageiras em cada fonte de P, não diferem entre si (Scott Knott 5%).

No Latossolo, somente o cultivo da soja em sucessão ao sorgo apresentou alteração significativa para a fonte de P, sendo a menor MSPA da obtida quando aplicado o SFT (Figura 1 c). No Cambissolo, não foi observada nenhuma alteração significativa para a fonte de P. (Figura 1 d).

No Latossolo, quando aplicado o FRA a menor MSPA da soja foi obtida com o cultivo sucessão ao braquiário (Figura 1 c), e no Cambissolo, com a soja cultivada em sucessão à braquiária, ao braquiário e ao sorgo (Figura 1 d). Quando aplicado o SFT, em ambos os solos não foi observada diferença significativa do cultivo prévio das forrageiras sobre a MSPA da soja (Figura 1 c d).

Com relação ao acúmulo de P na parte aérea e nos grãos da soja, comparando os valores obtidos nos tratamentos sem e com cultivo prévio das plantas de cobertura, observa-se que, quando aplicado o FRA, houve aumento no acúmulo de P na parte aérea e nos grãos da soja cultivada em sucessão à braquiária, sorgo e milho, em ambos os solos (Tabela 5). Para o cultivo da soja em sucessão ao braquiário adubado com o FRA, observa-se, no Latossolo, redução do acúmulo de P nos grãos e para o acúmulo de P na parte aérea não observou-se alteração significativa (Tabela 5). No Cambissolo, o acúmulo de P nos grãos da soja cultivada em sucessão ao braquiário adubado com FRA foi semelhante ao valor obtido na soja sem cultivo prévio de planta de cobertura (Tabela 5). Quando aplicado o SFT o acúmulo de P na parte aérea e nos grãos da soja cultivada em sucessão às forrageiras foi inferior aos valores obtidos na soja sem cultivo prévio das plantas de cobertura em ambos os solos, com exceção, no Cambissolo, do acúmulo de P na parte aérea da soja cultivada em sucessão ao milho que foi semelhante ao valor obtido no tratamento sem cultivo (Tabela 5).

Semelhante ao observado para a PG e MSPA, o acúmulo de P na parte aérea e nos grãos da soja foi superior no Latossolo em relação ao Cambissolo (Figura 2 a, b, c e d).

TABELA 5 Estimativa dos contrastes de médias para o acúmulo de P nos grãos e na parte aérea da soja entre o tratamentos sem cultivo prévio das forrageiras de cobertura e os tratamentos com cultivo de cobertura adubadas com SFT e FRA.

CONTRASTES	Latossolo		Cambissolo	
	Grãos	P.Aérea	Grãos	P.Aérea
------(g vaso ⁻¹)-----				
S/ Cultivo SFT – Braquiária SFT	0,0706 ^{**1}	0,0158 ^{**}	0,0700 ^{**}	0,0109 ^{**}
S/ Cultivo SFT – Braquiarão SFT	0,0934 ^{**}	0,0195 ^{**}	0,1200 ^{**}	0,0149 ^{**}
S/ Cultivo SFT – Milheto SFT	0,1018 ^{**}	0,0116 ^{**}	0,0600 ^{**}	0,0000 ^{ns}
S/ Cultivo SFT – Sorgo SFT	0,1180 ^{**}	0,0182 ^{**}	0,0800 ^{**}	0,0097 ^{**}
S/ Cultivo FRA – Braquiária FRA	-0,0328 ^{**}	-0,0126 ^{**}	-0,0500 ^{**}	-0,0100 ^{**}
S/ Cultivo FRA – Braquiarão FRA	0,0357 ^{**}	-0,0038 ^{ns}	0,0100 ^{ns}	-0,0110 ^{**}
S/ Cultivo FRA – Milheto FRA	-0,0306 ^{**}	-0,0141 ^{**}	-0,0600 ^{**}	-0,0120 ^{**}
S/ Cultivo FRA – Sorgo FRA	-0,0256 [*]	-0,0108 ^{**}	-0,0500 ^{**}	-0,0064 ^{**}

^{**}, ^{*}, ^{ns} – Significativo a 1, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de F.

¹ Os valores correspondem à diferença das médias entre o tratamento adicionais, sem cultivo, e os tratamentos com cultivo das forrageiras, adubados com SFT e o FRA. Quando negativos, a média obtida no tratamento com cultivo das forrageiras foi superior à média obtida no tratamento adicional, sem cultivo.

Avaliando o efeito das fontes de P sobre o acúmulo de P na parte aérea da soja, observa-se, no Latossolo que os maiores valores foram obtidos quando a soja foi cultivada em sucessão à braquiária, sorgo e milheto adubadas com o FRA (Figura 2 a). No Cambissolo, não foi obtido diferença significativa para o acúmulo de P na parte aérea da soja entre as fontes de P (Figura 2 b).

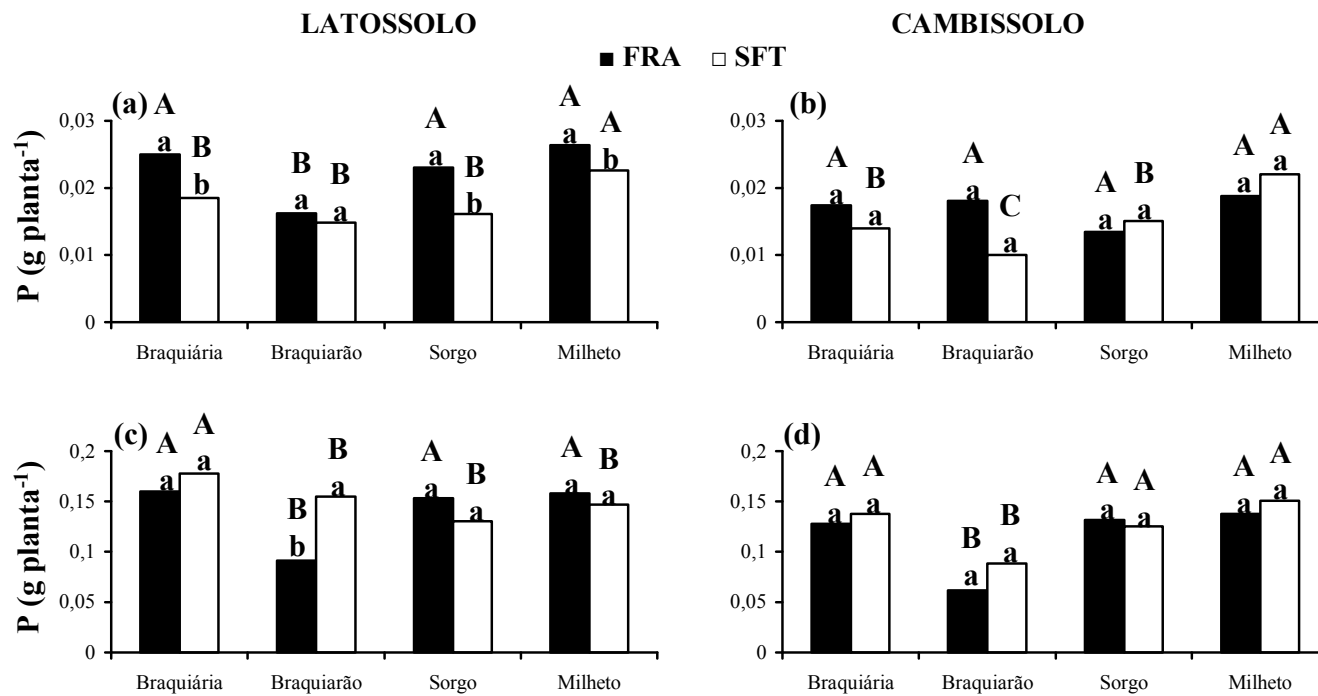


FIGURA 2 Acúmulo de P na parte aérea (a b) e nos grãos (c d) da soja cultivada em sucessão a plantas de cobertura adubadas com SFT e FRA, no Latossolo e no Cambissolo. Em cada solo, médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando as fontes de P para cada gramínea forrageira, e maiúscula, comparando as gramíneas forrageiras em cada fonte de P, não diferem entre si (Scott Knott 5%).

No Latossolo, quando aplicado o FRA, o acúmulo de P na parte aérea da soja cultivada em sucessão ao braquiário apresentou o menor valor e, no Cambissolo, não foi observado diferença significativa (Figura 2 a e b). Quando aplicado o SFT, o acúmulo de P na parte aérea da soja em sucessão à braquiária, ao braquiário e ao sorgo apresentaram os menores valores (Figura 2 a e b).

Para o acúmulo de P nos grãos da soja, observa-se diferença significativa entre as fontes somente no cultivo da soja em sucessão ao braquiário no Latossolo, apresentando o menor acúmulo quando aplicado o FRA (Figura 2 c e d). Quando aplicado o FRA, em ambos os solos, os menores valores de acúmulo de P nos grãos foram obtidos com o cultivo em sucessão ao braquiário (Figura 2 c e d). Quando adubadas com o SFT, no Latossolo, os menores valores de acúmulo de P nos grãos da soja foram obtidos com o cultivo em sucessão ao braquiário, sorgo e milho e, no Cambissolo, em sucessão ao braquiário (Figura 2 c e d).

3.2 Produção, crescimento e acúmulo de P pelo feijoeiro

A PG e MSPA do feijoeiro foi superior no Latossolo comparada a produção obtida no cultivo sobre o Cambissolo (Figura 3 a, b, c e d). Esses resultados são semelhantes aos observados para a soja nas Figura 1 a, b, c e d.

Comparando a PG do feijoeiro sem e com cultivo prévio de plantas de cobertura, quando aplicado o FRA observa-se, no Latossolo, que somente em sucessão ao braquiário obteve-se variação significativa com redução da PG (Tabela 6). No Cambissolo, a PG do feijoeiro cultivado em sucessão às forrageiras foi superior ao tratamento sem cultivo prévio de plantas de cobertura (Tabela 6). Semelhante ao observado para a soja (Tabela 4) o efeito residual do FRA foi mais proeminente no Cambissolo que no Latossolo. Conforme relatado no Capítulo I e II desse trabalho, o efeito dreno Ca do Latossolo, provavelmente, pode ter aumentado a solubilização do FRA, reduzindo a fração de P ligado a Ca

(P-HCl) (Figura 2 c e d, Capítulo 2) e conseqüentemente favorecendo maior eficiência na aquisição do P oriundo do FRA (Figura 4, Capítulo I) e reduzindo a fração P ligada a Ca (Figura 2 c, capítulo 2). Esse resultado corrobora com a afirmativa de Goedert (1983), Magalhães (1984), Novais & Smyth (1999) e Horowitz & Meurer (2004) onde relatam que o efeito residual do P oriundo de fontes de baixa solubilidade e mais intenso em solos arenosos.

Quando aplicado o SFT, a PG do feijoeiro cultivado em sucessão às forrageiras foi inferior ao obtido no tratamento sem cultivo, com exceção do cultivo do feijoeiro em sucessão ao sorgo e ao milho que não diferiram estatisticamente do tratamento sem cultivo (Tabela 6).

TABELA 6 Estimativa dos contrastes de médias para a produção de grãos (PG) (g planta⁻¹) e matéria seca de parte aérea (MSPA) (g planta⁻¹) do feijoeiro entre os tratamentos sem cultivo prévio das forrageiras de cobertura e os tratamentos com cultivo de cobertura adubados com SFT e FRA.

CONTRASTES	Latossolo		Cambissolo	
	PG	MSPA	PG	MSPA
	----- (g vaso ⁻¹) -----			
S/ Cultivo SFT – Braquiária SFT	6,61 ^{**1}	5,03 ^{**}	2,13 [*]	1,45 [*]
S/ Cultivo SFT – Braquiaraõ SFT	3,95 ^{**}	6,06 ^{**}	2,90 ^{**}	1,37 [*]
S/ Cultivo SFT – Milheto SFT	5,95 ^{**}	6,06 ^{**}	1,77 ^{ns}	1,43 [*]
S/ Cultivo SFT – Sorgo SFT	4,68 ^{**}	5,10 ^{**}	1,02 ^{ns}	1,82 ^{**}
S/ Cultivo FRA – Braquiária FRA	-0,25 ^{ns}	-1,67 [*]	-14,83 ^{**}	-2,11 ^{**}
S/ Cultivo FRA – Braquiaraõ FRA	5,92 ^{**}	-1,71 [*]	-10,44 ^{**}	-4,81 ^{**}
S/ Cultivo FRA – Milheto FRA	0,98 ^{ns}	-2,87 ^{**}	-13,40 ^{**}	-3,34 ^{**}
S/ Cultivo FRA – Sorgo FRA	0,18 ^{ns}	-1,91 [*]	-19,13 ^{**}	-2,37 ^{**}

^{**}, ^{*}, ^{ns} – Significativo a 1, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de F.

¹ Os valores correspondem à diferença das médias entre o tratamento adicionais, sem cultivo, e os tratamentos com cultivo das forrageiras, adubados com SFT e o FRA. Quando negativos, a média obtida no tratamento com cultivo das forrageiras foi superior à média obtida no tratamento adicional, sem cultivo.

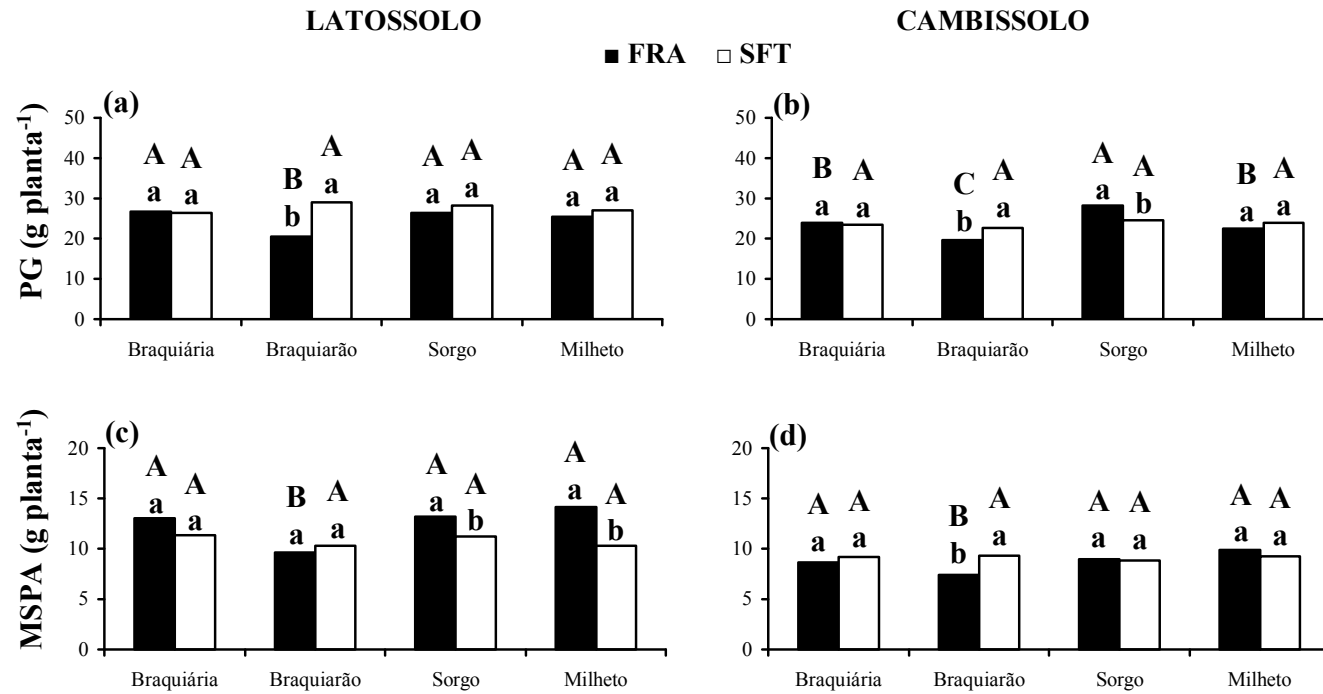


FIGURA 3 Produção de grãos (PG) (a b) e de matéria seca de parte aérea (MSPA) (c d) do feijoeiro cultivado em sucessão a plantas de cobertura adubadas com SFT e FRA, no Latossolo e no Cambissolo. Em cada solo, médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando as fontes de P para cada gramínea forrageira, e maiúscula, comparando as gramíneas forrageiras em cada fonte de P, não diferem entre si (Scott Knott 5%).

No Latossolo a PG do feijoeiro cultivado em sucessão ao braquiário, em ambos os solos, apresentaram redução significativa quando aplicado o FRA (Figura 3 a e b). No Cambissolo, quando o feijoeiro foi cultivado em sucessão ao sorgo, a menor produção foi obtida quando aplicado o SFT (Figura 3 b). Esse resultado pode ser atribuído ao maior potencial do sorgo em acumular P (Figura 3 a e b, Capítulo I) reduzindo a disponibilidade para a cultura subsequente.

Na Figura 3 a e b observa-se que em ambos os solos quando as forrageiras foram adubadas com o FRA a menor PG do feijoeiro foi obtido com o cultivo em sucessão ao braquiário. Quando aplicado o SFT não foi obtida alteração significativa da PG do feijoeiro em função das plantas de cobertura (Figura 3 a e b).

Comparando a MSPA entre o feijoeiro cultivado em sucessão às forrageiras e sem cultivo prévio de plantas de cobertura, observa-se que quando aplicado o FRA, em ambos os solos, os valores foram superiores, e quando aplicado o SFT a MSPA obtida foi inferior (Tabela 6). Esse efeito reforça o que foi afirmado acima em relação ao efeito residual do FRA ser mais intenso em solos arenosos devido ao baixo efeito do poder dreno de Ca do Cambissolo na dissolução do FRA.

Observa-se, no Latossolo, que o cultivo em sucessão ao sorgo e ao milheto apresentou variação significativa, com a menor MSPA obtida quando aplicado o SFT (Figura 3 c). Esse efeito evidencia o fato da maior absorção de P pela cultura de cobertura, quando adubada com fonte de P de alta solubilidade, reduzindo a disponibilidade do nutriente para a cultura subsequente. No Cambissolo, somente o cultivo em sucessão ao braquiário proporcionou alteração significativa da MSPA em função da fonte de P, onde com a aplicação do FRA obteve-se os menores valores (Figura 3 d). Na Figura 3 c e d observa-se em ambos os solos que quando aplicado o FRA, os menores valores foram obtidos com o cultivo em sucessão ao braquiário e, quando aplicado o SFT, não foi observada diferença significativa .

De maneira geral o acúmulo de P na parte aérea e nos grãos do feijoeiro apresentaram comportamento semelhante à PG e MSPA, com a maior produção obtida no Latossolo em relação ao Cambissolo (Figura 4 a, b, c e d).

Comparando o acúmulo de P na parte aérea do feijoeiro cultivado em sucessão às forrageiras e sem cultivo prévio de plantas de cobertura observa-se que quando aplicado o FRA, no Latossolo, o cultivo em sucessão ao sorgo e, no Cambissolo, o cultivo em sucessão ao braquiário e ao sorgo apresentaram valores superiores (Tabela 7). Quando aplicado o SFT, no Latossolo, o cultivo em sucessão a todas as forrageiras e, no Cambissolo, em sucessão à braquiária e ao milho proporcionou menor acúmulo de P na parte aérea do feijoeiro em relação ao tratamento sem cultivo prévio de plantas de cobertura (Tabela 7).

No Latossolo o maior acúmulo de P na parte aérea do feijoeiro foi obtido com o cultivo em sucessão à braquiária e ao milho adubados com o FRA e em sucessão ao sorgo adubado com o SFT, sendo que em sucessão ao braquiário não foi obtida diferença significativa em função da fontes de P (Figura 4 a). No Cambissolo resultado semelhante foi obtido para o cultivo do feijoeiro em sucessão ao sorgo, no entanto com o cultivo em sucessão ao braquiário o maior acúmulo de P foi obtido quando aplicado o FRA e em sucessão à braquiária e o milho não foi obtida diferença significativa em função da fonte de P (Figura 4 b).

No Latossolo, quando aplicado o FRA os menores acúmulo de P na parte aérea foram obtidos com o cultivo em sucessão ao sorgo e, no Cambissolo, com o cultivo em sucessão à braquiária e ao sorgo (Figura 4 a e b). Quando aplicado o SFT, o cultivo do feijoeiro em sucessão ao braquiário no Latossolo e ao braquiário e sorgo no Cambissolo proporcionaram o maior acúmulo de P na parte aérea (Figura 4 a e b).

Comparando o acúmulo de P nos grãos do feijoeiro cultivado em sucessão às forrageiras e sem cultivo prévio de plantas de cobertura observa-se que quando aplicado o FRA, no Latossolo, o cultivo em sucessão à braquiária e ao sorgo apresentaram alteração significativa com aumento no acúmulo de P nos

grãos (Tabela 7). No Cambissolo o acúmulo de P nos grãos do feijoeiro cultivado em sucessão às forrageiras foi superior ao tratamento em cultivo prévio de plantas de cobertura (Tabela 7). Quando aplicado o SFT, no Latossolo, o acúmulo de P nos grãos do feijoeiro cultivado em sucessão às forrageiras não apresentou diferença significativa com o tratamento sem cultivo prévio das plantas de coberturas (Tabela 7). No Cambissolo somente com o cultivo em sucessão à braquiária e ao sorgo o acúmulo de P nos grãos do feijoeiro foi inferior ao tratamento sem cultivo prévio das plantas de cobertura (Tabela 7).

TABELA 7 Estimativa dos contrastes de médias para o acúmulo de P nos grãos e na parte aérea do feijoeiro entre o tratamentos sem cultivo prévio das forrageiras de cobertura e os tratamentos com cultivo de cobertura adubados com SFT e FRA.

CONTRASTES	Latossolo		Cambissolo	
	Grão	P.Aérea	Grão	P.Aérea
----- (g vaso ⁻¹) -----				
S/ Cultivo SFT – Braquiária SFT	-0,0043 ^{ns1}	0,0095 ^{**}	0,0250 ^{**}	0,0058 ^{**}
S/ Cultivo SFT – Braquiarão SFT	-0,0100 ^{ns}	0,0060 ^{**}	0,0074 ^{ns}	0,0011 ^{ns}
S/ Cultivo SFT – Milheto SFT	0,0126 ^{ns}	0,0096 ^{**}	0,0000 ^{ns}	0,0060 ^{**}
S/ Cultivo SFT – Sorgo SFT	0,0072 ^{ns}	0,0113 ^{**}	0,0174 ^{**}	0,0008 ^{ns}
S/ Cultivo FRA – Braquiária FRA	-0,0210 ^{**}	-0,0007 ^{ns}	-0,0604 ^{**}	-0,0006 ^{ns}
S/ Cultivo FRA – Braquiarão FRA	0,0026 ^{ns}	0,0023 ^{ns}	-0,0481 ^{**}	-0,0150 ^{**}
S/ Cultivo FRA – Milheto FRA	-0,0050 ^{ns}	0,0011 ^{ns}	-0,0427 ^{**}	0,0008 ^{ns}
S/ Cultivo FRA – Sorgo FRA	-0,0180 [*]	-0,0108 ^{**}	-0,0560 ^{**}	-0,0030 ^{**}

** , * , NS – Significativo a 1, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de F.

¹ Os valores correspondem à diferença das médias entre o tratamento adicionais, sem cultivo, e os tratamentos com cultivo das forrageiras, adubados com SFT e o FRA. Quando negativos, a média obtida no tratamento com cultivo das forrageiras foi superior à média obtida no tratamento adicional, sem cultivo.

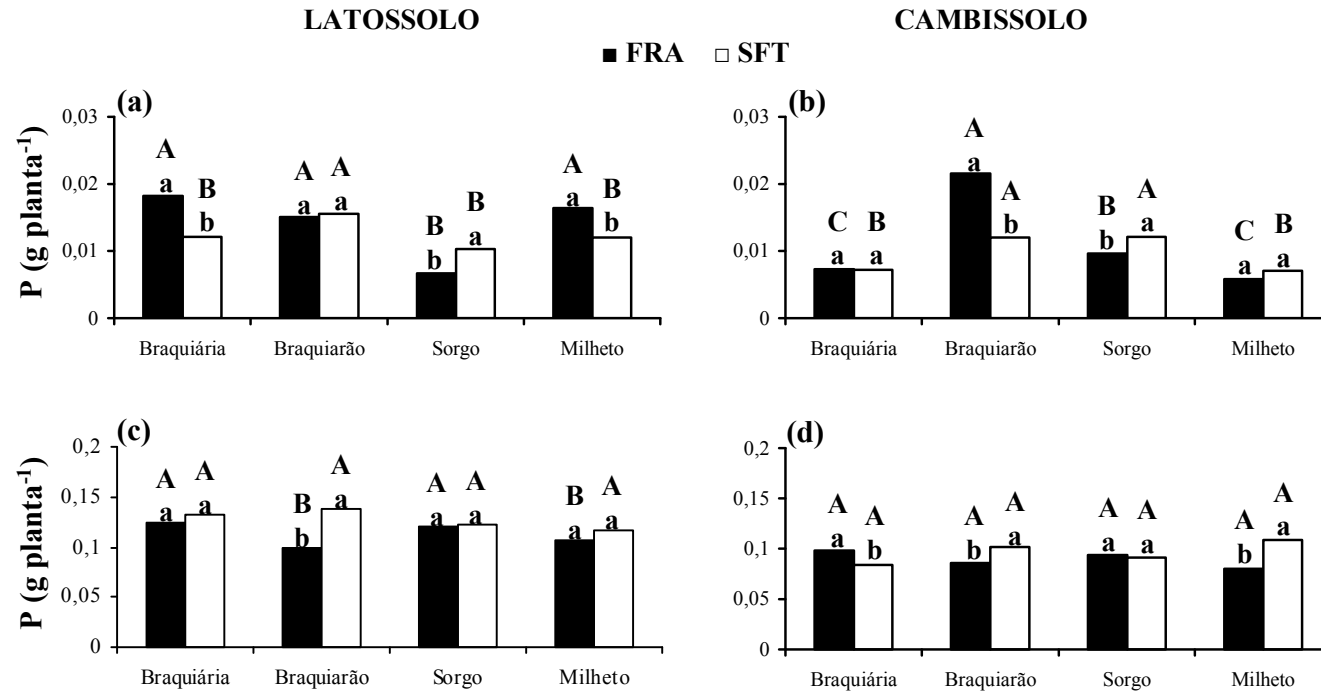


FIGURA 4 Acúmulo de P na parte aérea (a b) e nos grãos (c d) do feijoeiro cultivado em sucessão a plantas de cobertura adubadas com SFT e FRA, no Latossoilo e no Cambiissoilo. Em cada solo, médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando as fontes de P para cada gramínea forrageira, e maiúscula, comparando as gramíneas forrageiras em cada fonte de P, não diferem entre si (Scott Knott 5%).

No Latossolo somente em sucessão ao braquiário observou-se diferença significativa com o menor acúmulo quando aplicado o FRA (Figura 4 c). No Cambissolo com o cultivo do feijoeiro em sucessão ao braquiário e ao milho o menor acúmulo de P foi com a aplicação do FRA, em sucessão à braquiária com a aplicação do SFT e em sucessão ao milho não foi obtida diferença significativa (Figura 4 d).

Quando aplicado o FRA, os menores valores foram obtidos com o cultivo em sucessão ao braquiário e ao milho e, quando aplicado o SFT não foi obtida diferença significativa entre as forrageiras (Figura 4 c). No Cambissolo, com a aplicação de ambos os fertilizantes não foram obtidas diferenças significativas (Figura 4d).

Em geral, os dados das Figuras 1 e 3 , para matéria seca e 2 e 4 para o acúmulo de P pela soja e feijoeiro, respectivamente, mostram que, de maneira geral, para os dois solos, independente da forrageira de cobertura, as fontes de P utilizadas não influenciaram o crescimento, produção e acúmulo de P pelas leguminosas cultivadas em sucessão. As Tabelas 5 e 7 para matéria seca e 6 e 8 para acúmulo de P para soja e feijoeiro, respectivamente, mostram que de maneira geral, independente do solo utilizado, o cultivo prévio das forrageiras de cobertura reduziu o crescimento e acúmulo de P pela soja e feijoeiro, quando a fonte de P foi o SFT, e ao contrário foi observado quando a fonte foi o FRA, com exceção para o cultivo em sucessão ao braquiário. Poucos são os trabalhos que avaliam o efeito da palhada de braquiária (*Brachiaria decumbens*) e do braquiário (*Brachiaria brizantha*) sobre a produção da soja e do feijoeiro. Broch (1997), Broch et al. (1997), Pitol et al. (2001) e Kluthcouski & Stone (2003) relatam que em diversas áreas sob ecossistema cerrado no Mato Grosso do Sul a soja apresentou maior produção sobre palhada de plantas do gênero *Brachiaria*, principalmente a em sucessão à *Brachiaria brizantha*. Kluthcouski & Stone

(2003) relatam que o principal benefício do braquiário é proporcionar melhor distribuição do sistema radicular da cultura subsequente.

A longo prazo, em termos práticos, a integração lavoura-pecuária pode reduzir ainda mais o efeito residual de fontes de P solúvel devido a exportação dos nutrientes na forragem consumida pelos animais. Nesse caso, o uso de fontes de menor solubilidade seria boa alternativa, possibilitando maior efeito residual e melhor aproveitamento do P da fonte, devido uma liberação mais lenta para a solução do solo, reduzindo a fixação e aumentando o aproveitamento do nutriente pela cultura em sucessão.

Em geral, o efeito do fator dreno de Ca no Latossolo foi preponderante nos resultados, e com isso potencializando a aplicação de fosfatos reativos em solos argilosos e com alta CTC potencial, apresentando resultados semelhantes aos obtidos quando aplicadas fontes solúveis de P, como o SFT. No entanto, quando cultivado em solos com baixo fator dreno de Ca, solos arenosos de baixa CTC potencial, a eficiência de fontes de P menos solúveis como o FRA, fica dependente do uso de plantas com maior eficiência na absorção de P e Ca, como o braquiário e a braquiária. No entanto, o manejo da fertilidade do solo através da calagem e adubações periódicas pode alterar algumas propriedades químicas do solo afetando a reação de dissolução dos fertilizantes fosfatados, principalmente das fontes menos reativas. Nesse sentido, o presente trabalho apresenta alguns resultados que podem servir como base para novos trabalhos, só que a nível de campo.

4 CONCLUSÃO

Os resultados do presente trabalho permitem concluir que:

- as forrageiras imobilizaram o P do SFT, reduzindo o efeito residual para a soja e o feijoeiro;
- quando as gramíneas forrageiras foram adubadas com o FRA, há um aumento do efeito residual, com aumento da produção da soja e do feijoeiro em sucessão às plantas de cobertura, com exceção para o cultivo das leguminosas em sucessão ao braquiário.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

BERNARDI, A. C. C.; MACHADO, P. L. O. A.; FREITAS, P. L.; COELHO, M. R.; LEANDRO, W. M.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. P.; OLIVEIRA, R. P.; SANTOS, H. G.; MADARI, B. E.; CARVALHO, M. C. S. **Correção do solo e adubação no sistema de plantio direto nos cerrados**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 22 p. (Embrapa Solos. Documentos, 46).

BORKET, C.M.; GAUDÊNCIO, C.A.; PEREIRA, J.E.; OLIVEIRA JUNIOR, A. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea de culturas de cobertura de solo para semeadura direta com rotação de culturas (compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., Brasília, 1999. **Anais...**Brasília: SBCS, EMBRAPA, CPAC, 1999.

BROCH, D.L. Integração agricultura-pecuária no Centro-Oeste do Brasil. In: ENCONTRO REGIONAL DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 4., 1999, Uberlândia. **Plantio direto na integração lavoura-pecuária**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2000. p.53-60.

BROCH, D.L. Soja PD em brachiária. **Direto no Cerrado**, Brasília, v.2, n.4, p.8-9, 1997.

BROCH, D.L.; PITOL, C.; BORGES, E.P. **Integração agricultura-pecuária: plantio direto da soja sobre pastagem na integração agropecuária**. Maracaju: Fundação MS, 1997. 24p. (FUNDAÇÃO MS. Informativo Técnico, 01/97).

CAPERNEO, V. & MIELNICZUK, J. Estudo de agregação e qualidade de agregados de latossolos roxos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.4, n.1, p.99-105, 1990.

CORRÊA, J.C.; MAUAD, M.; ROSOLEM, C.A. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.12, p.1231-1237, dez. 2004.

EMBRAPA, Embrapa Solos, Embrapa Informática Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.

FRANCISCO, E.A.B. **Antecipação da adubação da soja na cultura de *Eleusine coracana* (L.) Gaertn em sistema de plantio direto**. ESALQ, 2002. 58p Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

GIAROLA, N. F. B. **Levantamento pedológico, perdas de solo e aptidão agrícola das terras na região sob influência do reservatório de Itutinga/Camargos (MG)**. Lavras, ESAL, 1994. 226p. (Dissertação de Mestrado).

GOEDERT, W.J. Efeito residual de fosfatos naturais em solos de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.18, p.499-506, 1983.

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 American Journal**, Madison, v.46, n.5, p.970-976, Sep./Oct 1982.

HOROWITZ, N. & MEURER, E.J. Eficiência agrônômica dos fosfatos naturais. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. **Fósforo na agricultura Brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p.665-688.

KLUTHCOUSKI, J. & STONE, L.F. Desempenho de culturas anuais sobre palhada de braquiária. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F.; AIDAR, H. **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p.499-522.

LANGE, A.; CABEZAS, W.A.R.L.; TRIVELIN, P.C.O. Matéria seca e ciclagem de nutrientes na palha em solo arenoso em sistema semeadura direta no cerrado. In: FERTBIO, 2004, Lages-SC. **Resumos...** Lages-SC: UDESC, 2004. (CD-ROM).

MAGALHÃES, J.C.A.J. **Aproveitamento do fosfato-de-patos-de-minas pelo trigo (*Triticum aestivum* L.) cv. IAC-5, cultivado em dois solos sob vegetação de cerrado do DF, com dois níveis de calagem**. ESALQ, 202p., 1984. (Tese de Doutorado).

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

MENEZES, L.A.; SOUTO JÚNIOR, M.L.; LEANDRO, W.M. Efeitos de coberturas verdes, com potencial de utilização em sistema de plantio direto, na variabilidade espacial de nutrientes no solo. In: FERTBIO, 2002, Rio de Janeiro-RJ. **Resumos...** Rio de Janeiro-RJ: UFRRJ, 2002. (CD-ROM).

MORAES, R.N. de S. **Decomposição das palhadas de sorgo e milheto, mineralização de nutrientes e seus efeitos no solo e na cultura do milho em plantio direto**. 2001. 90p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

MURPHY, J.; RILEY, J.P. A modified single solution methods for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v.27, p.31-36, 1962.

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas-SP, v.20, n.3, p.407-414, 1996.

NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa:UFV, 1999.399p.

PITOL, C.; GOMES, E.L.; ERGES, E.I. Avaliação de cultivares de soja em plantio direto sobre brachiária. In: FUNDAÇÃO MS. **Resultados de pesquisa e experimentação**: safra 2000/2001. Maracaju, 2001. p.40-48.

RAJAN, S.S.S.; WATKINSON, J.H.; SINCLAIR, A.G. Phosphate rocks for direct applications to soils. **Advances in Agronomy**, v.57, p.77-159, 1996.

SEGUATELLI, C.R. **Produtividade da soja em semeadura direta com antecipação da adubação fosfatada e potássica na cultura de *Eleusine coracana* (L.) Gaertn.** ESALQ, 2004. 58p Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

SIDIRAS, N.; PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo de solo no nível de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas-SP, v.9, p.249-224, 1985.

SOUZA, R.F. de. **Dinâmica de fósforo em solos sob influência da calagem e adubação orgânica, cultivados com feijoeiro**. Lavras, UFLA, 2005. 141p. (Tese de Doutorado).

ANEXOS

TABELA 1A Resumo da ANAVA, quadrado médio (QM), para os dados de matéria seca de parte aérea (MSPA), raiz (MSR) e colonização micorrízica (CM) das gramíneas nos solos estudados.

Fontes de Variação	G.L.	Latossolo		Cambissolo	
		MSPA	MSR	MSPA	MSR
Cultura (C)	3	3046,88**	2489,48**	963,61**	1030,55**
Fonte P (P)	1	1980,41**	459,19**	4755,32**	1054,89**
C vs. P	3	803,88**	645,84**	773,26**	112,18*
Resíduo	24	122,69	90,42	19,75	14,31

**, *, NS – Significativo a 1, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de F.

TABELA 2A Resumo da ANAVA, quadrado médio (QM), para os dados de acúmulo de P na parte aérea, raiz e total das gramíneas nos solos estudados.

Fontes de Variação	G.L.	Latossolo		Cambissolo	
		Parte Aérea	Raiz	Parte Aérea	Raiz
Cultura (C)	3	0,022479**	0,003283**	0,004999**	0,000651**
Fonte P (P)	1	0,081104**	0,002032**	0,046421**	0,001818**
C vs. P	3	0,017304**	0,000110 ^{ns}	0,002093**	0,000023 ^{ns}
Resíduo	24	0,000590	0,000098	0,000413	0,000014

**, *, NS – Significativo a 1, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de F.

TABELA 3A Resumo da ANAVA, quadrado médio (QM), para os dados de rendimento percentual de matéria seca de parte aérea (RPPA) e raiz (RPR) e eficiência de acumulação de P (EAP) para as diferentes forrageiras.

Fontes de Variação	G.L.	Latossolo			Cambissolo		
		RPPA	RPR	EAP	RPPA	RPR	EAP
Cultura (C)	3	676,3*	3463,9**	3943,1**	1910,9**	3195,6**	775,5**
Resíduo	12	159,0	482,3	616,0	48,3	122,4	51,5

**, *, NS – Significativo a 1, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de F.