

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

**FRAÇÕES DE FÓSFORO EM LATOSSOLO DO
CERRADO SOB SISTEMAS DE MANEJO,
FONTES E MODOS DE APLICAÇÃO DE ADUBO
FOSFATADO**

LARISSA GOMES ARAÚJO

LARISSA GOMES ARAÚJO

**FRAÇÕES DE FÓSFORO EM LATOSSOLO DO
CERRADO SOB SISTEMAS DE MANEJO,
FONTES E MODOS DE APLICAÇÃO DE ADUBO
FOSFATADO**

Monografia apresentada à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília – UnB, como parte das exigências do curso de Graduação em Agronomia, para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. CÍCERO CÉLIO DE FIGUEIREDO

**Brasília, DF
Março de 2013**

FICHA CATALOGRÁFICA

ARAÚJO, Larissa Gomes

“FRAÇÕES DE FÓSFORO EM LATOSSOLO DO CERRADO SOB SISTEMAS DE MANEJO, FONTES E MODOS DE APLICAÇÃO DE ADUBO FOSFATADO”. Orientação: Cícero Célio de Figueiredo, Brasília 2013. 61 páginas

Monografia de Graduação (G) – Universidade de Brasília / Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2013.

1. Plantio direto 2. Cultivo convencional 3. Fósforo microbiano 4. Cerrado

I. Figueiredo, C.C.de. II. Drº.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ARAÚJO, L.A. Frações de fósforo em latossolo do cerrado sob sistemas de manejo, fontes e modos de aplicação de adubo fosfatado. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2013, 61 páginas. Monografia.

CESSÃO DE DIREITOS

Nome do Autor: LARISSA GOMES ARAÚJO

Título da Monografia de Conclusão de Curso: Frações de fósforo em latossolo do cerrado sob sistemas de manejo, fontes e modos de aplicação de adubo fosfatado.

Grau: 3º **Ano:** 2013

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta monografia de graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

LARISSA GOMES ARAÚJO

FRAÇÕES DE FÓSFORO EM LATOSSOLO DO CERRADO SOB SISTEMAS DE MANEJO, FONTES E MODOS DE APLICAÇÃO DE ADUBO FOSFATADO

Monografia apresentada à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília – UnB, como parte das exigências do curso de Graduação em Agronomia, para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. CÍCERO CÉLIO DE FIGUEIREDO

BANCA EXAMINADORA:

Cícero Célio de Figueiredo
Doutor, Universidade de Brasília – UnB
Orientador / email: cicerocf@unb.br

Ieda de Carvalho Mendes
PhD, Embrapa Cerrados
Examinadora

Rafael de Souza Nunes
MSc. Embrapa Cerrados
Examinador

Dedico este trabalho aos meus pais José Araújo e Anely Gomes, grandes exemplos de vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por concedei-me a vida e tudo aquilo que a torna esplêndida.

Aos meus pais por estarem sempre ao meu lado. Mãe, sua presença em minha vida dignifica cada instante do meu viver e o amor que me dedica revigora meus sonhos; Pai, sua confiança em mim é o que me torna forte.

A minha família Marcos Gomes, por me acompanhar a cada novo dia e trazer soluções aos meus conflitos, por novas conversas, pela sua dedicação a nossa família e sempre acreditar nos objetivos alcançados; a minha irmã Giselly Gomes e ao meu afilhado Marcus Henrique, por construírem o extraordinário dia em cada amanhecer.

Ao professor Dr. Cícero Célio de Figueiredo, pelo despertar da pesquisa em mim e o exemplo de profissionalismo, à amizade, paciência, compreensão e o talento de transmitir o conhecimento e nos fazer buscá-lo. E ainda muito mais que um orientador um exemplo de personalidade a ser seguido.

Ao pesquisador da Embrapa Cerrados - Rafael Nunes, por acompanhar e ensinar os passos para desenvolver uma pesquisa e como vivenciá-la, pela paciência em ensinar e ajudar-me com a ansiedade e tornar possível a realização deste trabalho.

Ao pesquisador da Embrapa Cerrados Djalma Martinhão G. de Sousa pela concepção do experimento e pela contribuição ao conhecimento dos solos do Cerrado.

Aos companheiros (as) – Tamíris Araújo e Talita Gomes, por toda nossa caminhada acadêmica, nossas alegrias e tristezas vividas juntas, noites de divertido e intenso trabalho, aos estágios e as grandes emoções; Sara Dantas, pelo companheirismo e os intensos e maravilhosos congressos; Yumi kamila aos conselhos; Karinne Soares e Davi Gomes, por possibilitar o início de uma nova fase em minha vida; Janaína Gomes; Fabiana Melo; Fabrício Melo; Michelle Meira, por compartilharem das alegrias e as tornarem possíveis; Kleber Alves, ao carinho e cuidado ao longo da caminhada, pelas horas de estudo e todos os desabafos ouvidos.

A equipe do Laboratório de Estudos da Matéria Orgânica do Solo – em especial aos mestrandos Juliana Sato, ao conhecimento transmitido; Géssica Souza e Julia Emanuela, às nossas conversas; Rodrigo Fernandes, pela companhia e ajuda das atividades laboratoriais e Heyder Lopes, à amizade construída.

E todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho e na minha vida acadêmica.

Muito obrigada!

“Aquele que permanece em mim e eu nele produzirá muitos frutos;
porque sem mim, nada podeis fazer.”

(João 15:1-8)

ARAÚJO, LARISSA GOMES. **Frações de fósforo em latossolo do cerrado sob sistemas de manejo, fontes e modos de aplicação de adubo fosfatado.** 2013. Monografia (Bacharelado em Agronomia). Universidade de Brasília – UnB.

RESUMO

O conhecimento das frações de fósforo no solo é de suma importância para a determinação da disponibilidade desse nutriente às plantas. Em virtude disso há a necessidade de se avaliar as formas orgânicas e inorgânicas de P em diferentes sistemas de cultivo e de fertilizantes fosfatados e seu modo de aplicação em experimentos de longa duração. O objetivo deste trabalho foi avaliar diferentes frações de fósforo em solo sob sistemas de manejo, fontes e modos de aplicação do adubo fosfatado. Foi utilizado um experimento localizado na área experimental da Embrapa Cerrados, em Planaltina – DF, em Latossolo Vermelho, cultivado por 18 anos com culturas de soja e milho, e milheto como planta de cobertura, sob sistema de preparo convencional (SCC) ou sistema plantio direto (SPD) recebendo $80 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de P_2O_5 como superfosfato triplo ou fosfato natural reativo, aplicados no sulco de semeadura ou a lanço na superfície. Foram coletadas amostras em três do solo (0 a 5 cm; 5 a 10 cm; 10 a 20 cm). As seguintes frações de fósforo foram determinadas: P extraível por Mehlich 1 e Bray 1, P orgânico e P microbiano, além da atividade da enzima fosfatase ácida. O SPD apresentou maiores teores de todas as frações de P na camada superficial (0 a 5 cm) do solo e elevada atividade da fosfatase ácida em relação ao SCC independente da fonte e do modo de aplicação dos fertilizantes fosfatados. A atividade da fosfatase ácida apresentou elevada correlação com o fósforo orgânico, independente do sistema de manejo, da fonte e do modo de aplicação do adubo fosfatado.

Palavras-chave: Plantio direto; Cultivo convencional; Fósforo microbiano; Cerrado.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Exemplo de coleta de 5 sub-amostras da linha de plantio em direção às entrelinhas.	27
Figura 2 Distribuição do P Mehlich 1 sob sistema de cultivo convencional (SCC) e plantio direto (SPD), adubado com superfosfato triplo (SFT) e fosfato natural reativo (FNR), independentemente do modo de aplicação, na dose de 80 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ por 17 anos e sem adubação no 18 ^o ano. Letras iguais dentro de cada sistema em profundidade indicam que não há diferença entre os valores de P Mehlich 1(p > 0,05).	34
Figura 3. Distribuição do P Bray 1 em Latossolo sob sistema de cultivo convencional (SCC) e plantio direto (SPD), adubado com superfosfato triplo (SFT) e fosfato natural reativo (FNR), independentemente do modo de aplicação, na dose de 80 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ por 17 anos e sem adubação no 18 ^o ano. Letras iguais dentro de cada sistema em profundidade indicam que não há diferença entre os valores de P Bray 1 pelo teste de Tukey-Kremer (p > 0,05).	38
Figura 4. Distribuição do P orgânico sob sistema de cultivo convencional (SCC) e plantio direto (SPD), adubado com superfosfato triplo (SFT) e fosfato natural reativo (FNR), independentemente do modo de aplicação. Letras iguais dentro de cada sistema em profundidade indicam que não há diferença entre os valores de P orgânico pelo teste de Tukey-Kremer (p > 0,05).....	40
Figura 5. Distribuição do P microbiano sob sistema de cultivo convencional (SCC) e plantio direto (SPD), adubado com superfosfato triplo (SFT) e fosfato natural reativo (FNR), independentemente do modo de aplicação. Letras iguais dentro de cada sistema em profundidade indicam que não há diferença entre os valores de P microbiano pelo teste de Tukey-Kremer (p > 0,05).....	43
Figura 6. Relação entre o P orgânico e a atividade da enzima fostase ácida em Latossolo sob sistemas de manejo, fontes e forma de aplicação de adubo fosfatado.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Atributos químicos e granulométricos do solo antes da implementação do experimento, na camada de 0 a 20 cm.	25
Tabela 2 Cronograma de cultivos principais e de cobertura no experimento em estudo.	25
Tabela 3 Descrição dos tratamentos utilizados no presente estudo.	26
Tabela 4. Características dos fertilizantes fosfatados utilizados no experimento ⁽¹⁾	26
Tabela 5. Significâncias ($Pr > F$) dos efeitos de sistema de cultivo, fonte de fósforo modo de aplicação do adubo fosfatado, profundidade e interações para PMehlich 1, PBray-I, Porgânico, Pmicrobiano, PMicro/POrg e enzima fosfatase ácida em Latossolo cultivado por 17 anos recebendo 80 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ e sem adubação no 18° ano.....	31
Tabela 6. Distribuições do P Mehlich 1 em Latossolo sob sistema de cultivo convencional (SCC) e plantio direto (SPD), adubado com superfosfato triplo (SFT) e fosfato natural reativo (FNR) aplicados a lanço e no sulco de semeadura na dose de 80 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ por 17 anos e sem adubação no 18° ano.	33
Tabela 7. Distribuições do P extraível por Bray 1 em Latossolo sob sistema de cultivo convencional (SCC) e plantio direto (SPD), adubado com superfosfato triplo (SFT) e fosfato natural reativo (FNR), na dose de 80 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ por 17 anos e sem adubação no 18° ano.....	35
Tabela 8. Distribuições do P extraível por Bray 1 em Latossolo sob sistema de cultivo convencional (SCC) e plantio direto (SPD), adubado no sulco de semeadura e a lanço na superfície, na dose de 80 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ por 17 anos e sem adubação no 18° ano.	37
Tabela 9. Distribuições do P orgânico em Latossolo sob sistema de cultivo convencional (SCC) e plantio direto (SPD), adubado com superfosfato triplo (SFT) e fosfato natural reativo (FNR) aplicados a lanço e no sulco de semeadura, na dose de 80 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ por 17 anos e sem adubação no 18° ano.	39
Tabela 10. Teores de P microbiano em Latossolo sob sistema de cultivo convencional (SCC) e plantio direto (SPD), adubado com superfosfato triplo (SFT) e fosfato natural reativo (FNR) aplicados a lanço e no sulco de semeadura, na dose de 80 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ por 17 anos e sem adubação no 18° ano.	42
Tabela 11. Relação P microbiano/P orgânico em Latossolo sob sistema de cultivo convencional (SCC) e plantio direto (SPD), adubado com superfosfato triplo (SFT) e	

fosfato natural reativo (FNR) aplicados a lanço e no sulco de semeadura, na dose de 80 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ por 17 anos e sem adubação no 18° ano.	44
Tabela 12. Enzima fosfatase ácida em Latossolo sob sistema de cultivo convencional (SCC) e plantio direto (SPD), adubado com superfosfato triplo (SFT) e fosfato natural reativo (FNR) aplicados a lanço e no sulco de semeadura, na dose de 80 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ por 17 anos e sem adubação no 18° ano.	46
Tabela 13. Coeficiente de correlação de Pearson para diversos parâmetros relacionados a dinâmica do fosforo em Latossolo sob sistema de cultivo convencional (SCC) e plantio direto (SPD), adubado com superfosfato triplo (SFT) e fosfato natural reativo (FNR) aplicados a lanço e no sulco de semeadura, na dose de 80 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ por 17 anos e sem adubação no 18° ano.	47

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1. O Bioma Cerrado e o Domínio dos Latossolos	15
2.2. Frações de Fósforo no solo e sua determinação	16
2.3. Sistemas de cultivo e as frações de fósforo no solo	17
2.4. Fontes de fertilizantes fosfatados	20
2.5. Modo de aplicação de fertilizantes fosfatados	22
3. MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1. Descrição do experimento	24
3.2. Coleta do solo	27
3.3. Procedimentos analíticos	27
3.4. Análises estatísticas	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1. Efeitos gerais	31
4.2. P Mehlich 1	32
4.3. P Bray 1	34
4.4. P orgânico	38
4.5. P microbiano	40
4.6. Relação P microbiano/P orgânico	43
4.7. Fosfatase ácida	44
5. CONCLUSÕES	48
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

1. INTRODUÇÃO

O Cerrado representa aproximadamente 24% do território nacional (IBGE, 2006) e um terço da biodiversidade nacional. Apresenta duas estações bem definidas uma seca e outra chuvosa (Embrapa, 2012). Os solos do Cerrado possuem propriedades físicas que facilitam a mecanização agrícola, no entanto, sob condições naturais, apresentam propriedades químicas limitantes devido à baixa fertilidade natural, além de elevada acidez (Silva et al., 2010).

Mesmo diante das limitações dos solos do Cerrado, a produção agrícola na região foi viabilizada através de pesquisas realizadas por empresas públicas e privadas, tornando possível a correção da acidez e da fertilidade dos solos, a partir, principalmente, do manejo adequado da adubação e da correção da acidez.

Entre os nutrientes limitantes à produção agrícola no Cerrado, o fósforo (P) tem merecido atenção especial, devido a sua dinâmica em solos intemperizados como os que predominam no Cerrado. Decorrente do elevado grau de intemperismo desses solos, reações de adsorção de P à fase sólida do solo, diminuem a disponibilidade desse nutriente às plantas (Sousa et al., 2010). As formas de fósforo comumente encontradas nesses solos são as inorgânicas ligadas à fração argila com alta energia e as formas orgânicas estabilizadas fisicamente e quimicamente (Rheinheimer et al., 2008).

A dinâmica do fósforo no sistema solo-planta pode ser alterada pelo sistema de manejo adotado. Diante disso tem-se observado, a partir da década de 1980, a utilização do sistema de plantio direto no Cerrado (FEBRAPDP, 2013), em função de suas características conservacionistas e diminuição dos custos de produção, em substituição ao do sistema de cultivo convencional efetuado com intenso revolvimento do solo (Panachuki, 2003).

As características apresentadas em cada sistema de manejo, convencional e direto, para o P estão intimamente ligadas à forma de condução de cada sistema que promove alteração das frações desse nutriente no perfil do solo e na sua disponibilização para as culturas. A utilização de diferentes fontes de fertilizantes fosfatados (Aguiar Neto et al., 2010) e o seu modo de aplicação, conforme o sistema de manejo, também são responsáveis pela dinâmica e disponibilização de P às plantas (Sousa & Lobato, 2003). Os sistemas de manejo alteram de forma diferenciada as diferentes frações de P no solo.

Considerando essa complexa dinâmica do P no solo e sua elevada importância para manutenção das altas produtividades agrícolas, o objetivo deste trabalho foi determinar as diferentes frações de P no solo, em Latossolo do Cerrado sob sistemas de manejo, fontes e modo de aplicação de adubo fosfatado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O Bioma Cerrado e o Domínio dos Latossolos

O Bioma Cerrado é a segunda maior formação vegetal brasileira depois da Amazônia, ocupando área de 2.036.448 milhões de hectares, representando, aproximadamente 24% do território nacional (IBGE, 2006) e concentrando um terço da biodiversidade nacional. É composto por diferentes tipos de vegetação, em decorrência das diversidades do solo, topografia e variações climáticas (Silva et al., 2008).

As características climáticas do Cerrado variam em virtude das influências das regiões vizinhas, destacando-se um regime de alta estacionalidade, concentrando-se nos meses de outubro a março, que é a estação chuvosa e no período de maio a setembro ocorre a estação seca. Períodos de estiagem podem ocorrer na estação chuvosa, denominados veranicos, ocasionando sérios problemas para a agricultura.

Os solos desse bioma, em decorrência das características climáticas, do material de origem e do elevado grau de intemperismo, geralmente apresentam cor vermelha ou vermelho amarela, são profundos, porosos e bem drenados, conseqüentemente intensamente lixiviados (Oliveira et al., 2004).

As principais classes de solos que ocorrem no Cerrado são: Latossolos (46% da área), Nitossolos (15%) e Neossolo Quartzarênico (15%). Dentre essas classes, os Latossolos, possuem elevada relevância para a agricultura, em decorrência de suas propriedades físicas e morfológicas, que facilitam a mecanização e favorecem a utilização de tecnologias que viabilizam a produção agrícola em grandes áreas com elevadas produtividades.

Em relação às propriedades químicas dos Latossolos, o elevado grau de intemperismo e as reações de dessilicatização possibilita a formação de minerais de argila de baixa atividade, com predominância dos óxidos de Fe e Al e caulinita. A formação de tais minerais possibilitam as condições de acidez que predominam nesses solos, a geração de cargas positivas e a elevação da capacidade de trocas aniônicas e da adsorção de ânions, principalmente de P (Resende et al., 2007).

As limitações químicas dos Latossolos em decorrência de sua baixa fertilidade natural, principalmente pela adsorção do P e baixa disponibilidade de outros nutrientes

como potássio, cálcio e magnésio, além de sua elevada acidez (Pedroso Neto et al., 2008; Silva et al., 2010) tornam a agricultura impraticável sem que haja alguma intervenção.

Diante da reduzida disponibilidade de nutrientes e a impossibilidade de atingir elevadas produtividades nos Latossolos, políticas públicas e pesquisas realizadas por parcerias de instituições nacionais e internacionais tornou viável a produção agrícola no Cerrado, em virtude da utilização de técnicas de manejo do solo como a aplicação de fertilizantes, uso de corretivos e irrigação e também a introdução de novas cultivares adaptadas ao clima e altitudes presentes no bioma em questão (Lopes & Daher, 2008).

Atualmente o Cerrado é responsável pela produção agrícola de 60% da soja, 59% do café, 45% do feijão e 44% do milho em relação à produção nacional, a partir de elevada tecnologia e obtenção de altas produtividades (Conab, 2012).

2.2. Frações de Fósforo no solo e sua determinação

O conceito de relação fonte-dreno ilustra adequadamente a interação entre o íon fosfato, o solo e a planta, onde a planta exerce a função de dreno e tem o solo como sua fonte principal de tal nutriente (Silva et al., 2010; Ourives et al., 2010).

Os solos com elevado grau de intemperismo, como é o caso dos solos do Cerrado, apresentam predominância de cargas positivas, ocorrendo a adsorção aniônica principalmente dos íons fosfatos. Desta forma, o solo torna-se dreno competindo com a planta quando aplicado fertilizantes fosfatados (Gatiboni, 2003; Santos et al., 2011).

As formas de fósforo comumente encontradas nesses solos altamente intemperizados são as formas inorgânicas (P inorgânico) ligadas à fração argila com alta energia e as formas orgânicas (P orgânico) estabilizadas fisicamente e quimicamente. Em função de sua estabilidade são classificados como fosfatos lábeis aqueles capazes de repor rapidamente a solução do solo, e não-lábeis aqueles que apresentam adsorção específica com ligações com grau energia maior (Rheinheimer et al., 2008).

Existem duas maneiras de alterar a concentração de P na solução do solo. A primeira é a partir das fontes minerais, onde tais fontes podem apresentar maior ou menor solubilidade, determinando a liberação de íons fosfatos em solução. A segunda maneira é através das fontes orgânicas que poderão ser dreno ou fonte do P para a solução. Quando fonte, a mineralização dos resíduos de cultivo e matéria orgânica contribuirão para o P da solução, já enquanto dreno poderá ocorrer a imobilização

temporária do P da solução do solo pela incorporação à biomassa microbiana (Silva et al., 2010; Ourives et al., 2010).

O P armazenado na biomassa microbiana (P microbiano) é determinado pela imobilização do P inorgânico, quando elevada a disponibilidade de tal nutriente no solo, constituindo as componentes celulares da microbiota. Com a morte desses microrganismos ocorre a liberação (mineralização) desse P para a solução do solo (Conte et al., 2002; Martinazzo et al., 2007). Essa dinâmica de imobilização e mineralização de P é influenciada por diversos fatores, entre eles os sistemas de manejo do solo.

Para que o P orgânico seja disponibilizado para as plantas este deve ser transformado em P inorgânico (Richardson et al., 2001). As enzimas responsáveis por tal reação são denominadas fosfatases produzidas por microrganismos e plantas.

De maneira simples, o P disponível pode ser definido como aquela fração do fósforo do solo capaz de ser facilmente absorvido pelas plantas. Diversas técnicas têm sido empregadas na tentativa de determinar de forma adequada o P disponível por meio de extratores químicos. Os melhores extratores são aqueles cujo P extraído apresenta boa relação com absorção pela planta, e conseqüentemente com o P disponível.

Para a determinação do P extraível o principal extrator utilizado no Brasil é o Mehlich-1, composto por uma mistura de ácidos fortes diluídos (H_2SO_4 0,125 mol L⁻¹ + HCl 0,05 mol L⁻¹) e de simples aplicação. No entanto a eficiência de extração é limitada pela capacidade tampão de P no solo e a extração de compostos de cálcio, superestimando os valores de P extraível em solos que receberam adubação de fosfatos naturais (Sousa et al., 2010).

Devido as limitações decorrentes do extrator Mehlich-1 tem-se utilizado outros tipos de extratores, como é caso do método que utiliza o Bray 1 (HCl 0,025 mol L⁻¹ + NH₄F mol L⁻¹). O caráter menos ácido de tal extrator e a ausência de sulfato como ânion de troca mais efetiva com o fosfato, comparativamente com o cloreto, em relação ao Mehlich-1 elimina a ação indesejável de extração de compostos de cálcio (Steiner et al., 2009).

2.3. Sistemas de cultivo e as frações de fósforo no solo

Sistema convencional de cultivo

As diferentes frações de P sofrem alterações conforme o tipo de manejo adotado. A ausência de revolvimento no plantio direto aliado ao acúmulo de matéria orgânica (MO) em contraste ao revolvimento da camada arável com decomposição acelerada da MO, promovidos pelo sistema convencional, são exemplos de práticas de manejo que mudam as proporções de P do solo em diferentes frações.

O sistema convencional de cultivo (SCC) consiste no revolvimento de camadas superficiais do solo, a partir das técnicas tradicionais como aração e gradagem, com a finalidade de fornecer condições para germinação e emergência das plântulas, conter a população inicial de plantas invasoras e também incorporar corretivos e fertilizantes. Entretanto, o problema causado pelo uso excessivo e inadequado de tais implementos agrícolas é a compactação do solo nas camadas subsuperficiais (abaixo de 20 cm), causado pela desestabilização dos agregados do solo (Panachuki, 2003).

Além dos problemas de compactação o SCC acelera o processo de decomposição da matéria orgânica (MO), em decorrência do intenso revolvimento do solo que ocasiona o rompimento de seus agregados e redução da proteção física da MO, intensificando a oxidação microbiana (Bayer et al., 2004). O revolvimento também contribui para erosão e perdas de nutrientes, decorrentes do impacto das gotas chuvas sob o solo desnudo (Sales et al., 1999).

Considerando-se que o sistema de manejo é fator preponderante para a transformação e liberação dos nutrientes no solo e o P é um dos nutrientes mais importantes para a produção de grãos no Cerrado, estratégias devem ser adotadas para aumentar a eficiência de uso desse nutriente nos sistemas agrícolas.

Tratando-se do P extraível por Mehlich 1 (P Mehlich) , verifica-se que para o SCC ocorre distribuição uniforme no perfil solo de tal nutriente, em consequência da incorporação dos fertilizantes até as camadas revolvidas pela grade e o arado (Rheinheimer et al., 2003).

Para a relação entre o SCC e o SPD, normalmente, os teores de P Mehlich no SCC são inferiores em relação àqueles sob SPD, fato explicado pela maior capacidade de adsorção específica do íon de fósforo, quando em contato com os colóides solo, proporcionado pela mobilização do solo. (Rheinheimer & Anghinoni, 2001).

Outro fator limitante para disponibilidade do P em SCC relaciona-se com a elevada oxidação da matéria orgânica (Bayer et al., 2000) e conseqüentemente a redução dos teores de P contidos na MO. Além disso a decomposição das fosfatases

ácidas devido a menor proteção pela MO, reduz a mineralização do P orgânico e liberação deste na forma inorgânica para as plantas (Richardson et al., 2001).

Sistema de plantio direto

Na década de 80, com os exemplos da região sul do Brasil, ocorre a introdução dos trabalhos visando a viabilização do SPD nos Cerrados (FEBRAPDP, 2013), devido suas características conservacionistas, diminuição dos custos de produção e também redução do tempo entre a colheita da safra anterior e a semeadura da safra seguinte.

O sistema de plantio direto consiste no uso de um conjunto de tecnologias que permite cultivar as lavouras sem o preparo do solo com implementos, onde a semeadura se dá com a presença de cobertura morta ou palha sobre o solo, proveniente de uma lavoura anterior. Assim, a manutenção da cobertura fornece proteção contra o impacto das gotas de chuva, reduzindo o transporte de sedimentos e a erosão (Tormena et al., 1998).

As áreas onde ocorre a manutenção do sistema de plantio direto demonstram inúmeras características positivas em relação à conservação do solo. Proporcionando acúmulo de matéria orgânica e a alta estabilidade dos agregados, em decorrência da ausência do revolvimento, possibilitam a manutenção de maiores teores de água no solo (Salton & Mielniczuk, 1995), a redução de suas temperaturas máximas (Gasparim et al., 2005) e também recuperação do teor de matéria orgânica do solo, contribuindo para sequestrar carbono no solo e reduzir o efeito estufa (Amado et al., 2001).

Apesar de inúmeras características favoráveis desse sistema, para que seja viabilizada sua implantação, serão necessários cuidados especiais, como correção da acidez superficial e subsuperficial, utilização de rotação de culturas, além da manutenção de cobertura morta. Outro cuidado importante é com a distribuição horizontal e vertical do P do solo, que pode limitar o acesso das raízes ao P, afetando a absorção.

Fatores como a fonte e o modo de aplicação de fósforo alteram a distribuição desse nutriente no solo sob plantio direto (Nunes et al., 2011). Outros fatores que podem contribuir para estratificação do P é a sua liberação durante a decomposição dos resíduos (Bravo et al., 2007) e a erosão superficial.

Comparando-se o SPD e o SCC, na camada superficial (0 a 5 cm) o P inorgânico foi superior sob SPD (Leite et al., 2010), concordando com elevados teores de P extraível por Mehlich 1 encontrados por Schlindwein & Anghinoni (2000) em diferentes classes de solo quando em SPD.

O emprego do SPD eleva a biomassa microbiana, ocasionando a imobilização do P inorgânico por tais microrganismos, possibilitando sua disponibilização pela ruptura das células microbianas. Dessa forma o P contido na biomassa microbiana funciona como uma proteção desse nutriente contra a sua adsorção aos colóides do solo (Guerra et al., 1995).

Teores de P encontrados na biomassa microbiana nas camadas superficiais em SPD representam uma forma eficiente de armazenamento de tal nutriente (Selles et al., 1997). Desse modo, em consequência da maior população microbiana e ambiente favorável à atividade das fosfatases ácidas sob SPD (Carneiro et al., 2004), resultados apresentados por Rheinheimer et al. (2000) concluem que em SPD ocorrem maiores teores de P microbiano em relação ao sistema de SCC.

2.4. Fontes de fertilizantes fosfatados

A necessidade da aplicação de grandes quantidades de adubos fosfatados na região dos cerrados está relacionada à baixa fertilidade apresentada nesses solos e também a elevada capacidade de adsorção dos íons de fosfato aos óxidos de ferro e alumínio e também à caulinita, principais representantes da fração argila de tais solos (Cessa et al., 2009).

Vários têm sido os estudos com fontes de fósforo que possibilitem maiores eficiências de uso e absorção pelas plantas (Aguiar Neto et al., 2010). No Brasil predomina o uso de fertilizantes fosfatados totalmente acidulados, com concentrações de até 41% de P_2O_5 , a exemplo do superfosfato triplo (SFT), contudo com elevados custos de obtenção. Devido aos elevados custos das fontes de fosfatos solúveis tem-se procurado por fontes alternativas, com maiores reatividades, podendo ser citados os fosfatos naturais reativos (FRN) (Fontoura et al., 2010).

Superfosfato triplo

O Superfosfato triplo (SFT) é obtido a partir do tratamento ácido de rochas fosfáticas. Possui alta solubilidade em água e em citrato neutro de amônio, apresentando elevada eficiência agrônômica, liberando íons de fosfato ao solo de forma mais rápida e intensa e apresentando efeito imediato no desenvolvimento das culturas (Ramos et al., 2009).

A eficiência inicial das fontes de fósforo solúveis, em relação à produção de grãos é maior quando comparadas com aquelas de fosfatos naturais (Coutinho et al., 1991) e outra característica importante consiste na facilidade de aplicação localizada por se tratarem de granulados.

Em solos intemperizados, após a aplicação de fertilizantes de alta solubilidade parte do P aplicado pode tornar-se indisponível às plantas, devido a alta concentração de íons fosfatos liberados, contribuindo para os processos de adsorção na superfície dos óxidos de Fe e Al, presentes em tais solos (Valladares et al., 2003). Desta forma acredita-se que a eficiência de uso do P aplicado é baixa nesses solos.

Essa abordagem de baixa eficiência dos adubos fosfatados tem sido questionada nos últimos anos. De acordo com Sousa et al, (2010) com a adoção de boas práticas, o que propicia elevadas produtividades e aumento na disponibilidade do fósforo do solo, a taxa de recuperação de P pode ser de 90% ou mais. Isso representa maior eficiência no processo produtivo agrícola, com benefícios diretos para o produtor e indiretos para toda a sociedade brasileira, resultando em agricultura sustentável.

De acordo com resultados apresentados por Nunes et al. (2011), ao comparar os fertilizantes SFT e FNR, tanto no SCC quanto no SPD são encontrados maiores valores de P extraível por Bray 1 quando aplica-se o SFT.

Vários trabalhos demonstram que em solos com adubação mineral fosfatada ocorre o aumento da fração do P orgânico do solo (Beck & Sanches 1994; Gatiboni et al., 2005). No entanto ocorre a redução da atividade da enzima fosfatase que está inversamente relacionada com a disponibilidade do P inorgânico, que é disponibilizado em altas concentrações por fontes solúveis, como o STF.

O aumento do P microbiano com a aplicação de fertilizantes fosfatado ao solo foi observado em vários trabalhos (Saffigna et al., 1989; Seeling & Zasoski, 1993; Guerra et al., 1995). Entretanto verifica-se que esse aumento ocorreu apenas com a aplicação recente de P e não foi influenciado por aplicações anteriores (Conte et al., 2002).

Fosfato natural reativo

Os fosfatos naturais originados de rochas sedimentares marinhas, como o fosfato natural reativo de Gafsa, apresentam alto grau de substituições isomórficas, tornando suas partículas uma microestrutura porosa com elevada área específica, conferindo sua

reatividade com o solo (Chien & Hammond, 1978) e apresenta-se também como fonte alternativa aos fosfatos de alta solubilidade, devido aos custos reduzidos (Franzini et al., 2009).

O FNR de Gafsa quando finamente moídos produz resultado semelhante de índice de eficiência agrônômica (IEA) para fósforo acumulado na parte aérea de plantas, quando comparado com o SFT (Horowitz & Meurer, 2003). No entanto para que ocorra maior dissolução de tal fonte, ocorre a necessidade de incorporação ao solo, tornando-se limitante para aqueles sistemas onde não se efetua o revolvimento do solo.

O método de extração Mehlich 1 tem sido inadequado para análise do P extraível, após a adubação com FNR, em consequência de superestimar valores quando na presença de solos com predomínio de P-Ca (Novelino et al., 1985). E que em tais condições a extração por Bray 1 possui maior confiabilidade, por constituir-se de ácido forte diluído e extrair apenas o P facilmente solúvel (Corrêa et al., 2008).

2.5. Modo de aplicação de fertilizantes fosfatados

O modo de aplicação dos fertilizantes fosfatados interfere diretamente em sua disponibilidade para as plantas, devido sua adequada localização em relação ao sistema radicular. Considerando-se a existência de várias solubilidades de fertilizantes fosfatados e granulometrias, a combinação entre tais fatores pode maximizar a eficiência de absorção de tal nutriente pelas plantas (Sousa & Lobato, 2003; Resende et al., 2004). Os modos de aplicação mais utilizados são a lanço em superfície com ou sem incorporação, no sulco de plantio, em cova e em faixas (Sousa et al., 2004).

Aplicação no sulco

A aplicação dos fertilizantes fosfatados localizada tem como objetivo o fornecimento de doses precisas do adubo, bem como elevar a absorção do nutriente pela planta, devido a proximidade em que o adubo é depositado em relação ao sistema radicular, fornecendo maior contato íon-raiz o que favorece o processo de difusão que é responsável por 91,4% de absorção dos íons de fosfato pelas plantas (Barber & Olson, 1982).

Estudos demonstram que doses elevadas de fertilizantes aplicadas em sulco podem afetar negativamente a produção de grãos, em razão de prejudicar a absorção de

outros nutrientes pela planta, acarretado pelo desbalanceamento do fator intensidade, responsável pela atividade dos íons em solução do solo (Novais e Smith, 1999).

Na região do Cerrado a utilização da aplicação de adubos em sulco é frequentemente adotada em conjunto com fontes solúveis de P e em culturas anuais que necessitam de tal nutriente prontamente disponível em menor espaço de tempo (Prado et al., 2001; Araújo et al., 2005).

Em condições de alta capacidade de retenção de P, a aplicação localizada dos fosfatos é mais eficiente que a incorporação dos fosfatos ao solo para produção de culturas anuais (Ernani et al., 2001). No entanto, cuidados devem ser tomados, pois apesar de reduzir a adsorção do P no solo pela aplicação localizada de tal nutriente, pode favorecer a redução do volume das raízes das plantas (Alves et al., 1999).

Aplicação a lanço

O fornecimento de fertilizantes fosfatados através de aplicações em superfície tornou-se uma alternativa para reduzir o tempo de semeadura, quando levado em consideração a aplicação em sulco, em virtude do elevado volume de fertilizante necessário para o suprimento das culturas anuais e o abastecimento das plantadeiras (Matos et al., 2006).

Apesar dos benefícios econômicos gerados, resultados têm mostrado que para ocorrer maior disponibilidade de fósforo, quando utilizados fertilizantes de baixa solubilidade é necessária a incorporação do fertilizante ao solo quando aplicados em superfície (Guareschi et al., 2008), ocorrendo limitações quando se tratar de SPD. Outro fator limitante da aplicação a lanço está relacionado à alta adsorção de P, como consequência do maior contato do P a fase sólida do solo (Prado et al., 2001).

Os teores de P extraível nas camadas de 0 a 2,5 cm do solo são 80% maiores na adubação a lanço em relação aos obtidos no sulco, em sistemas sob longo período de plantio direto, tal efeito pode ser associado ao acúmulo de resíduos vegetais durante vários anos (Nunes et al., 2011).

A aplicação de fosfato solúvel a lanço eleva o P microbiano nos primeiros dias após a adubação, mostrando que parte do P aplicado é imobilizado pela biomassa microbiana, presente em maior quantidade nas camadas superficiais do solo, onde o adubo é depositado quando aplicado a lanço (Martinazzo et al., 2007).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição do experimento

O estudo foi realizado numa área experimental localizada na Embrapa Cerrados, em Planaltina – DF, com altitude de 1.014 m, clima Cwa na classificação de Köppen, precipitação média anual de 1.570 mm e temperatura média anual de 21,3 °C. O relevo caracteriza-se como plano, a vegetação original é o Cerrado e o solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico muito argiloso (64 % de argila).

A área do experimento foi desmatada no ano de 1976, permanecendo sem uso agrícola até o ano de 1985, quando a vegetação que se restabelecia foi desmatada e se procedeu o preparo da área, corrigindo apenas a acidez por meio de calagem, com dose de 4 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT 100%). A área foi cultivada com mucuna-preta (*Mucuna pruriens*), guandu (*Cajanus cajan*) e crotalária (*Crotalaria juncea*) nas safras 1985/86, 1986/87, 1987/88, respectivamente e após esse período permaneceu sob vegetação espontânea até o ano de 1994 quando se estabeleceu o experimento.

Foram realizadas análises química e granulométrica do solo em setembro de 1994 (Tabela 01) e em seguida a correção dos níveis de acidez e fertilidade, com exceção de fósforo, de acordo com Sousa & Lobato, (2004) visando o máximo potencial produtivo das culturas. Foram aplicados 0,38 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT 100%), elevando a saturação por base a 50%, 3 t ha⁻¹ de gesso agrícola, micronutrientes na forma de FTE BR-10, na dose de 60 kg ha⁻¹, potássio na forma de KCl, na dose de 180 kg K₂O ha⁻¹. O experimento foi estabelecido tendo como objetivo principal a avaliação agrônômica de fontes, níveis e modo de aplicação do P no solo em sistema de preparo convencional (SPC) e plantio direto (SPD). O primeiro cultivo foi realizado na safra 1994/95 com a cultura da soja, que foi a cultura cultivada até a safra 2002/03 (9 cultivos). Neste período não houve a utilização de plantas de cobertura no inverno. Em julho de 2003 cultivou-se o milho como planta de cobertura, que foi cortado com roçadeira 30 dias antes do plantio da cultura principal, sendo esta prática mantida durante os anos que se seguiram. Nas safras 2003/04 e 2004/05 cultivou-se o milho e nas safras seguinte até 2010/11 a sucessão soja/milho. Na safra 2011/12 cultivou-se o milho (Tabela 02).

Tabela 1. Atributos químicos e granulométricos do solo antes da implementação do experimento, na camada de 0 a 20 cm.

pH	P	K ⁺	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	Matéria orgânica	Areia	Silte	Argila
	mg dm ⁻³		-----	cmol _c dm ⁻³	-----		g kg ⁻¹	-----	%	-----
5,4	1,0	43,1	0,08	2,41	2,01	5,27	28,0	27	9	64

Tabela 2 Cronograma de cultivos principais e de cobertura no experimento em estudo.

Safra (cultivo)	Cultivo de cobertura	Cultivo principal	Safra (cultivo)	Cultivo de cobertura	Cultivo principal
1994/95 (1°)	-	Soja	2003/04 (10°)	Milheto	Milho
1995/96 (2°)	-	Soja	2004/05 (11°)	Milheto	Milho
1996/97 (3°)	-	Soja	2005/06 (12°)	Milheto	Soja
1997/98 (4°)	-	Soja	2006/07 (13°)	Milheto	Milho
1998/99 (5°)	-	Soja	2007/08 (14°)	Milheto	Soja
1999/00 (6°)	-	Soja	2008/09 (15°)	Milheto	Milho
2000/01 (7°)	-	Soja	2009/10 (16°)	Milheto	Soja
2001/02 (8°)		Soja	2010/11 (17°)	Milheto	Milho
2002/03 (9°)		Soja	2011/12 (18°)	Milheto	Milho ⁽¹⁾

⁽¹⁾ A amostragem de solo foi realizada quando a cultura do milho em floração.

As dimensões das parcelas experimentais foram de 8 m x 4 m (32 m² de área), com espaçamento entre linhas de 50 cm para a soja, 80 cm para o milho e 20 cm para o milheto. A área útil considerada para a cultura da soja é aquela que compreende 4 linhas de plantio (espaçamento 0,5 m) numa extensão de 5 m, correspondendo, então, a 10m² e para a cultura do milho é aquela que compreende 3 linhas de plantio (espaçamento 0,8 m) numa extensão de 5 m, correspondendo, então, a 12m². A área apresentava irrigação complementar, para casos de veranicos prolongados.

As adubações anuais foram 80 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio e 30 kg ha⁻¹ de S na forma de gesso agrícola, aplicados a lanço simultaneamente ao plantio da cultura da soja e milho, além da adição de 150 kg ha⁻¹ de N na cultura do milho na forma de uréia até a safra agrícola de 2006/07. Em julho de 2008 o milheto utilizado como planta de cobertura recebeu adubação de 50 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia visando sua posterior disponibilização ao milho cultivado subsequentemente.

Os tratamentos utilizados no presente trabalho são apresentados na Tabela 03. Consistem de uma faixa cultivada sob sistema de preparo convencional (SPC), constituído de uma aração até 20 cm de profundidade com arado de discos e uma grade niveladora, e outra, distante 8 metros da primeira, cultivada sob sistema plantio direto (SPD). A adubação fosfatada foi realizada anualmente, do 1º ao 17º cultivos, na dose de 80 Kg ha⁻¹ de P₂O₅, na forma de superfosfato triplo (SFT) e hiperfosfato natural de Gafsa (FNR), cujas características estão apresentadas na Tabela 04. A aplicação do fertilizante fosfatado foi feita no sulco de semeadura ou a lanço na superfície, sendo que no SPC a aplicação do adubo a lanço foi realizada antes do revolvimento do solo e no SPD imediatamente após o plantio. No 18º cultivo o milho foi cultivado sem adubação fosfatada.

Tabela 3 Descrição dos tratamentos utilizados no presente estudo.

Tratamento	Fonte ⁽¹⁾	Granulometria	Dose kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ ano ⁻¹ (1º ao 17º cultivos)	Modo de aplicação	Sistema de cultivo
1	SFT	Grão	80	Lanço	SPC
2	SFT	Grão	80	Sulco	SPC
3	FNR	Farelado	80	Lanço	SPC
4	FNR	Farelado	80	Sulco	SPC
5	SFT	Grão	80	Lanço	SPD
6	SFT	Grão	80	Sulco	SPD
7	FNR	Farelado	80	Lanço	SPD
8	FNR	Farelado	80	Sulco	SPD

(1) SFT = superfosfato triplo; FNR = hiperfosfato natural de Gafsa;

Tabela 4. Características dos fertilizantes fosfatados utilizados no experimento ⁽¹⁾.

Fonte de fósforo ⁽²⁾	Granulometria	CaO	P ₂ O ₅ total	Característica	
				Solubilidade em relação ao P ₂ O ₅ total	
				Ac. cítrico 2 % (1:100)	Ac. fórmico 2 % (1:100)
				----- % -----	
SFT	Granulado	13	47,6	92	88
FNR	Farelado	37	28,2	44	74

(1) Análises efetuadas com amostras moidas (< 0,063 mm).

(2) SFT = Superfosfato triplo; FNR = Fosfato natural reativo.

3.2. Coleta do solo

As amostras de solo foram coletadas em janeiro de 2012, na floração do 18º cultivo com milho, efetuando-se a coleta em três camadas (0 a 5 cm; 5 a 10 cm e 10 a 20 cm) sendo uma amostra composta por cada parcela do experimento. Cada amostra composta dos tratamentos de adubação no sulco foi formada por 28 sub-amostras: 4 pontos dentro de cada parcela x 7 sub-amostras por ponto (uma na linha e 6 nas entre-linhas) conforme mostrado na Figura 02.



Figura 1. Exemplo de coleta de 5 sub-amostras da linha de plantio em direção às entre-linhas.

Para a amostragem foram coletadas todas as sub-amostras das camadas de 0 a 5 cm e 5 a 10 cm utilizando-se o trado com anel volumétrico de 100 cm³ e 5 cm de diâmetro e para a camada de 10 a 20 cm o trado holandês.

Depois de coletadas, as amostras foram divididas em duas alíquotas. A primeira foi imediatamente peneirada em malha de 4 mm e acondicionada em geladeira para análises microbiológicas. A segunda foi seca ao ar, macerada e peneirada em malha de 2 mm para as análises de P no solo.

3.3. Procedimentos analíticos

As análises realizadas foram: determinação do P extraível por Mehlich 1, conforme Embrapa (1997), Bray 1, conforme Bray & Kurtz, (1945), P orgânico (Olsen & Sommers, 1982), P microbiano segundo modificação de Brookes et al., (1982) e fosfatase por Tabatabai (1994).

No método Mehlich 1, à 5 cm³ de cada amostra de solo foram adicionados 50 mL de solução extratora (H₂SO₄ 0,0125N + HCl 0,05 N), passando então por uma agitação de 5 minutos. Após um repouso de 16 horas para decantação do solo, foram misturados 5 mL da solução com 5 mL de água e 10 mL de “solução de trabalho” (1 g de ácido ascórbico + 300 mL de molibdato de amônio). Os teores de P foram determinados por espectrofotometria a 820 nm.

No método Bray 1, à 5 cm³ de cada amostra de solo foi adicionado 40ml de solução extratora (HCl 0,025N + NH₄F 0,03 N), passando então por uma agitação de 1 minuto. As soluções foram imediatamente filtradas em papel filtro quantitativo faixa azul. Foram misturados 5 mL do filtrado com 5 mL de água destilada e 15 mL de solução redutora B (0,88 g de ácido ascórbico + 10 mL de solução de molibdato de amônio + H₂O deionizada q.s.p. 300 mL). Após 40 minutos de repouso, os teores de P foram determinados por espectrofotometria a 680 nm.

No método do P orgânico, pesaram-se 2 g de solo em duplicata, conjunto A para cadinho de porcelana, onde tal foi levado para ignificar à 550 °C por 1 hora, determinando-se o P total e o Conjunto B para snap-cap de 100 ml, obtendo-se o P inorgânico. A ambos os conjuntos foram adicionados 50 ml de solução extratora (H₂SO₄ 0,5 mol l⁻¹), passando por uma agitação de 16 horas. As soluções foram filtradas em papel filtro quantitativo faixa azul. Então misturaram-se 2 ml do filtrado com 10 ml de água destilada, 2 ml de NaOH (1,0 mol l⁻¹), 1 ml de solução indicadora p nitrofenol (0,25% / mL) e 10 ml de solução mista (200 mL de H₂SO₄ 2,5 M + 60 mL de solução de molibdato de amônio + 120 mL de solução de ácido ascórbico + 20 mL de solução de antimônio tartarato de potássio + H₂O destilada). Após 30 minutos de repouso, os teores de P foram determinados por espectrofotometria a 880 nm.

Avaliou-se o conteúdo de P da biomassa microbiana pelo método da fumigação extração (Brookes et al., 1982). Foram pesadas amostras de solo em triplicata, sendo as sub-amostras de 10 g de solo distribuídas em frascos de vidro, passadas por um período de pré-incubação, e fumigadas, por 24 h, num dessecador na presença de clorofórmio. Outras três sub-amostras de cada tratamento não foram submetidas à fumigação. A

extração do P foi realizada pela adição de 40 mL de uma solução de NaHCO_3 0,5 mol L^{-1} (pH 8,5) e, posteriormente, quantificado, pelo método espectrofotometria a 882nm, em solução de molibdato -ácido ascórbico. Para a correção da “fixação” do P inorgânico durante a extração, foi estimada a taxa de recuperação de uma quantidade conhecida de P adicionado ao solo juntamente com o extrator NaHCO_3 . O fator de correção para o cálculo do P da biomassa foi de 0,4.

A atividade da enzima fosfatase ácida foi determinada de acordo com Tabatabai (1994), baseando-se na determinação colorimétrica do *p*-nitrofenol liberado por essa enzima, quando o solo é incubado com uma solução tamponada de substratos específicos para cada uma. Para cada amostra utilizaram-se duas repetições analíticas mais um controle. Utilizou-se uma curva padrão preparada com as concentrações conhecidas de *p*-nitrofenol (0, 10, 20, 30, 40 e 50 μg de *p*-nitrofenol mL^{-1}) para determinação da quantidade de *p*-nitrofenol liberada das amostras. Os valores de atividade foram expressos em μg *p*-nitrofenol $\text{h}^{-1} \text{g}^{-1}$ solo.

3.4. Análises estatísticas

O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso com parcelas subdivididas com os sistemas de cultivo (SPC e SPD) nas parcelas e nas sub-parcelas as fontes de P (FNR e SFT) e os modos de aplicação (sulco e lanço), distribuídos aleatoriamente dentro de cada uma delas, com três repetições.

A análise de variância foi realizada considerando o modelo misto (pela presença de variáveis fixas e aleatórias) de máxima verossimilhança restrita via PROC MIXED do SAS 9.1. Para todas as variáveis resposta (P orgânico, P-inorgânico, P-Mehlich, P Bray, P_microbiano e fosfatase) avaliadas como distribuição em profundidade (dados repetidos no espaço) o modelo assume a seguinte forma:

$$Y_{ijkl} = \mu + B_j + S_i + \text{Erro}_{ij} + F_k + A_l + (FxA)_{kl} + (SF)_{ik} + (SA)_{il} + (SFA)_{ikl} + \text{Erro}_{ijkl} + P_m + (PS)_{im} + PF_{km} + PA_{lm} + PFA_{klm} + PSF_{ikm} + PSA_{ilm} + PSFA_{iklm} + \text{Erro}_{ijklm},$$

onde: μ = média geral dos dados; B = bloco (j = 1,2,3); S = Sistema de preparo (i = 1,2); F = Fonte de fósforo (k = 1,2); A = Modo de aplicação (l = 1,2); P = profundidade (m = 1,2,3); Erro = erro experimental.

Quando a análise de variância apontou significância o teste de hipótese de Tukey-Kremer ($P < 0,05$) foi utilizado para distinção das médias.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Efeitos gerais

Na Tabela 5 são apresentados os valores de significância do valor de F da análise por máxima verossimilhança restrita para os seguintes atributos: fósforo extraível por Mehlich 1 e Bray 1, fósforo orgânico, fósforo microbiano, relação entre fósforo microbiano e orgânico e enzima fosfatase ácida. Verifica-se que as interações quádruplas dos efeitos de sistema de cultivo, fonte de fósforo, modo de aplicação do adubo fosfatado e profundidade foram significativos ($P > 0,05$), com exceção do fósforo extraído por Bray 1.

Tabela 5. Significâncias ($Pr > F$) dos efeitos de sistema de cultivo, fonte de fósforo modo de aplicação do adubo fosfatado, profundidade e interações para PMehlich 1, PBray 1, Porgânico, Pmicrobiano, Pmicro/Porg e enzima fosfatase ácida em Latossolo cultivado por 17 anos recebendo 80 kg P₂O₅ ha⁻¹ e sem adubação no 18º ano.

Efeito	Fósforo					
	Mehlich-1	Bray-1	Orgânico	Microbiano	Micro/org	Fosfatase
$Pr > F$						
Sistema	<0,0001	0,1116	0,0006	0,0003	0,0201	0,0003
Fonte	<0,0001	0,0003	<0,0001	0,2282	<0,0001	0,7888
Modo	0,1409	0,1706	0,0547	<0,0001	<0,0001	0,5485
Fonte*Modo	0,0441	0,0344	0,0039	0,8846	0,1212	0,0003
Sist*Fonte	<0,0001	0,5149	0,0048	0,1245	0,0007	0,1215
Sist*Modo	0,0088	0,1217	0,0188	0,5635	0,5095	0,0080
Sist*Fonte*Modo	0,3259	0,2626	0,2915	0,0273	0,0012	0,0180
Profundidade	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Sist*Prof	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Fonte*Prof	<0,0001	0,0720	<0,0001	0,0017	<0,0001	0,0745
Modo*Prof	<0,0001	<0,0001	0,0282	0,0006	0,0207	0,0826
Fonte*Modo*Prof	0,0022	0,0069	0,0120	0,1362	0,0064	0,0074
Sist*Fonte*Prof	<0,0001	0,0182	<0,0001	0,0336	0,0003	0,2945
Sist*Modo*Prof	<0,0001	<0,0001	0,0611	0,0002	0,0002	0,0002
Sist*Fonte*Modo*Prof	0,0003	0,1506	0,0008	0,0337	0,0043	0,0188

4.2. P Mehlich 1

Os teores de P extraído pelo método Mehlich 1 variaram de 1,0 a 58,9 mg kg⁻¹ (Tabela 6). Estes teores estão dentro de uma faixa normalmente encontrada em diversos trabalhos, para os sistemas de cultivo plantio direto e plantio convencional (Rheinheimer, 2008; Schlindwein & Anghinoni, 2000; Rheinheimer et al., 2003).

Na camada de 0-5 cm o sistema de plantio direto (SPD) apresentou maiores teores de P Mehlich 1 que o sistema de cultivo convencional (SCC) quando da aplicação de fosfato natural reativo (FNR) a lanço ou no sulco e com o uso de superfosfato triplo (SFT) a lanço. Isso pode ser explicado pela ausência do revolvimento e a deposição dos fertilizantes em camadas superficiais sob SPD possibilitando maiores teores de P Mehlich 1 em comparação com o SCC, em decorrência da menor interação do fertilizante com o solo pela redução da adsorção do P (Schlindwein & Anghinoni, 2000; Ciotta et al 2002; Falleiro et al., 2003; Bortolon et al., 2009).

Ainda nessa camada, as fontes de fósforo e os modos de adubação não promoveram diferenças nos teores de P Mehlich 1 no solo sob sistema de cultivo convencional. Sob SPD maiores valores de P Mehlich 1 foram obtidos com a aplicação de FNR a lanço, seguida pela aplicação no sulco e ambas superiores ao SFT.

Esse elevado teor de P no SPD é decorrente da ação ácida do extrator Mehlich 1 que pode solubilizar fosfato natural, aumentando os teores de P extraível em solos que receberam esse tipo de fertilizante. Este fato limita o uso desse extrator nas determinações de P disponível quando do uso de fosfatos naturais (Santos & Kliemann, 2005; Gatiboni et al., 2003).

Já na camada de 5-10 cm, os sistemas de cultivo não se diferiram nos valores de P Mehlich 1 quanto às fontes e ao modo de aplicação, com exceção do SCC quando aplicado FNR no sulco. O mesmo foi demonstrado em estudo de Leite et al.(2010), sob SCC e SPD, que não verificaram diferenças nos teores de P Mehlich 1 nessa camada, em decorrência da homogeneização dos fertilizantes ocasionada pela grade e o arado sob SCC e do não revolvimento no SPD. A concentração do fertilizante na camada de 5-10 cm sob SPD ocorre na adubação realizada no sulco de semeadura e pode ser observado principalmente no P Mehlich 1, pela presença de fosfato natural não reagido (Ceretta & Silveira, 2002).

Na camada de 10-20 cm, quando o adubo foi aplicado a lanço, independente da fonte utilizada, sob SCC o solo apresentou maiores teores de P Mehlich 1 do que sob SPD. Esse resultado reforça o efeito da aração na distribuição do P em profundidade. Ainda nessa camada, sob SPD, os valores de P Mehlich 1 não se diferiram entre fontes e modos de aplicação do P. Já no SCC valores superiores de P Mehlich 1 foram encontrados quando aplicado FNR. Em mesmo experimento conduzido por Nunes et al. (2011) o P extraível em área nativa do Cerrado apresentou teor de 1,2 mg dm⁻³ semelhante aos teores encontrados no presente estudo na camada de 10-20 cm sob SPD que variaram de 1,0 a 1,4 mg dm⁻³, demonstrando o pouco efeito da adubação ao longo dos anos sobre os teores de P disponíveis nessa camada quando sob SPD.

Tabela 6. Distribuições do P Mehlich 1 em Latossolo sob sistema de cultivo convencional (SCC) e plantio direto (SPD), adubado com superfosfato triplo (SFT) e fosfato natural reativo (FNR) aplicados a lanço e no sulco de semeadura na dose de 80 kg P₂O₅ ha⁻¹ por 17 anos e sem adubação no 18º ano.

Camada	Sistema	SFT		FNR	
		Lanço	Sulco	Lanço	Sulco
----- mg kg ⁻¹ -----					
0-5	SCC	3,1 Ab	6,0 Aa	5,2 Ab	6,3 Ab
	SPD	11,1 Ca	6,0 Ca	58,9 Aa	37,5 Ba
5-10	SCC	2,9 Ca	4,1 ABCa	6,6 Aa	5,7 ABb
	SPD	3,3 Ca	5,9 Ba	5,6 BCa	14,8 Aa
10-20	SCC	2,0 Ba	2,1 Ba	2,9 Aa	3,2 Aa
	SPD	1,0 Ab	1,4 Aa	1,1 Ab	1,0 Ab

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna para cada profundidade, não diferem entre si pelo Teste de Tukey-Kremer (P>0,05).

A distribuição dos teores de P Mehlich 1 em profundidade para cada sistema é apresentada na Figura 2. Verificou-se maior estratificação do P sob SPD com diminuição dos teores em profundidade, independente da fonte utilizada. Isto evidencia que no SPD há a formação de um gradiente de P, ocasionado principalmente pelo não revolvimento do solo e intensificado pelo acúmulo de resíduos das culturas e a baixa mobilidade do P (Rheinheimer et al., 1998; Silveira & Stone, 2002; Castoldi et al., 2012). Já o sistema convencional promoveu maior homogeneização dos teores de P nas diferentes camadas. Nesse sistema, com aplicação de SFT, houve maior teor de P de 0-5

cm do que de 10-20 cm, ambas não diferiram da camada de 5-10 cm. Ainda sob SCC, com a aplicação de FNR a camada de 5-10 cm apresentou maior teor de P do que a camada 10-20 cm, no entanto, ambas as camadas não se diferiram da camada superficial.

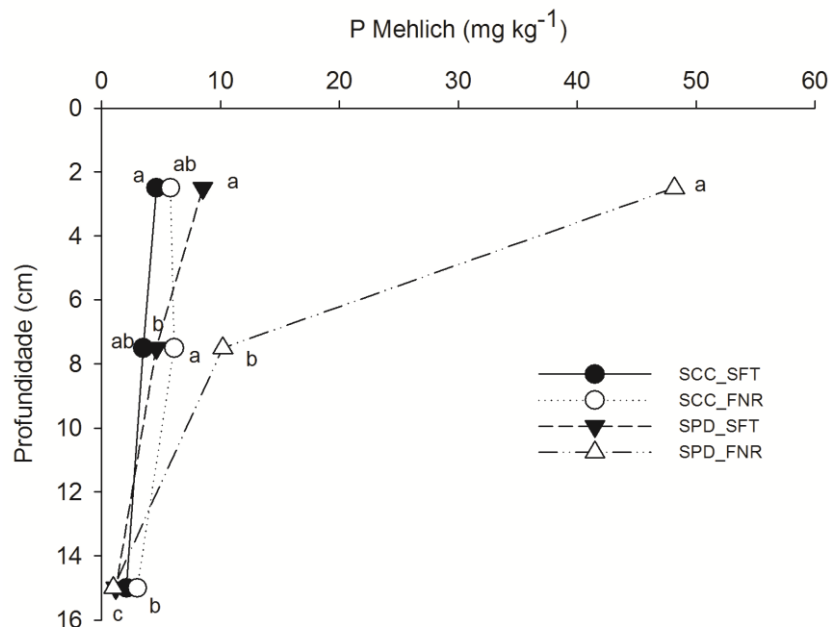


Figura 2 Distribuição do P Mehlich 1 sob sistema de cultivo convencional (SCC) e plantio direto (SPD), adubado com superfosfato triplo (SFT) e fosfato natural reativo (FNR), independentemente do modo de aplicação, na dose de 80 kg P₂O₅ ha⁻¹ por 17 anos e sem adubação no 18º ano. Letras iguais dentro de cada sistema em profundidade indicam que não há diferença entre os valores de P Mehlich ($p > 0,05$).

4.3. P Bray 1

Os teores de P Bray 1 variam de 1,5 a 11,4 mg kg⁻¹ (dados não apresentados), resultando em teores variando de 1,6 a 9,3 mg kg⁻¹ na avaliação da interação entre sistema, fonte e profundidade, utilizando os dados médios para os dois modos de aplicação (Tabela 7) e 1,6 a 10,6 mg kg⁻¹ na avaliação da interação entre sistema, modo e profundidade, utilizando os dados médios para as duas fontes de P (Tabela 8). Esta amplitude de valores de P extraível foi menor do que aquela observada quando utilizando o extrator Mehlich 1 (Tabela 6) e tal fato pode ser explicado pelas limitações do método Mehlich 1, como já relatado, superestimando os teores de P quando utilizam-se fosfatos naturais.

Com relação à interação entre sistema, fonte e profundidade, observou-se que, na camada de 0-5 cm, o SPD apresentou maior teor de P Bray 1 do que o SCC nas duas fontes utilizadas (Tabela 7). Da mesma forma como ocorreu para o P Mehlich 1, isso pode ser explicado pela ausência do revolvimento e a deposição dos fertilizantes em camadas superficiais sob SPD possibilitando maiores teores de P em comparação com o SCC, em decorrência da menor interação do fertilizante com o solo pela redução da adsorção do P (Schlindwein & Anghinoni, 2000; Ciotta et al., 2002; Falleiro et al., 2003; Bortolon et al., 2009).

Na camada de 5-10 cm sob SPD teor superior de P Bray 1 foi observado para SFT em relação ao FNR (Tabela 7). Isso pode ser explicado pelo fato do extrator Bray 1 ter preferência em determinar os fosfatos ligados ao alumínio e ao ferro, não evidenciando aqueles fosfatos que ainda podem ser solubilizados pelo FNR e serem posteriormente disponibilizados para as plantas (Sousa et al., 2009). Nessa mesma camada sob SCC os teores de P Bray 1 não se diferiram entre fontes utilizadas.

Assim como apresentado para o P Mehlich 1 na camada de 10-20 sob SPD o teor de P Bray 1 independe da fonte utilizada (Tabela 7), em decorrência das fontes de fósforo influenciar nos teores de P apenas sob SPD apenas nas camadas superficiais (0-10 cm) (Sousa et al., 2010).

Tabela 7. Distribuições do P extraível por Bray 1 em Latossolo sob sistema de cultivo convencional (SCC) e plantio direto (SPD), adubado com superfosfato triplo (SFT) e fosfato natural reativo (FNR), na dose de 80 kg P₂O₅ ha⁻¹ por 17 anos e sem adubação no 18º ano.

Camada	Sistema	SFT		FNR	
		----- mg kg ⁻¹ -----			
0-5	SCC	6,6	Ab	5,0	Bb
	SPD	9,3	Aa	8,6	Aa
5-10	SCC	5,0	Aa	4,2	Aa
	SPD	5,7	Aa	4,0	Ba
10-20	SCC	4,5	Aa	3,5	Ba
	SPD	1,8	Ab	1,6	Ab

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna para cada profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kremer (P>0,05).

Com relação à interação entre sistema, modo de aplicação e profundidade, observou-se que, no SCC não há diferenças entre os modos de aplicação em nenhuma camada analisada, indicando que o revolvimento do solo promove anulação deste efeito (Tabela 8).

Por outro lado, no SPD observa-se que a aplicação do P a lanço proporciona maiores teores de P Bray 1 na camada de 0-5 cm em relação a aplicação no sulco de semeadura, sendo que esta situação se inverte na camada de 5-10 cm, quando a aplicação no sulco de semeadura apresenta maiores teores de P Bray 1 (Tabela 8). Isso se justifica pelo não revolvimento do solo sob SPD, de modo que o fertilizante fosfatado permanece no local de aplicação, resultando em maiores teores de P Bray 1. Na camada de 10-20 não há efeito no modo de aplicação no SPD indicando que, conforme observado para os efeitos de fonte de P (Tabela 7), o manejo da adubação fosfatada no SPD não altera esse camada.

Na comparação entre os sistemas observa-se que o SPD apresentou maior teor de P Bray 1 do que o SCC apenas na camada de 0-5 cm quando o fertilizante foi aplicado a lanço na superfície e na camada de 5-10 cm quando a aplicação ocorreu no sulco de semeadura (Tabela 8). Por outro lado o SCC apresentou maiores teores de P Bray 1 em relação ao SPD na camada de 5-10 cm quando a aplicação ocorreu a lanço na superfície e na camada de 10-20 cm para os dois modos de aplicação do P. Esses resultados são justificados pela manutenção do P na região aplicada sob SPD, minimizando sua interação com o solo e resultando em maiores teores de P em relação ao SCC. Além disso, o revolvimento do solo sob SCC, levando o solo adubado para camadas inferiores àquelas onde ocorreu a adubação promove os maiores teores de P observados.

Tabela 8. Distribuições do P extraível por Bray 1 em Latossolo sob sistema de cultivo convencional (SCC) e plantio direto (SPD), adubado no sulco de semeadura e a lanço na superfície, na dose de 80 kg P₂O₅ ha⁻¹ por 17 anos e sem adubação no 18° ano.

Camada	Sistema	Sulco		Lanço	
		----- mg kg ⁻¹ -----			
0-5	SCC	6,6	Aa	5,0	Ab
	SPD	7,3	Ba	10,6	Aa
5-10	SCC	4,9	Ab	4,3	Aa
	SPD	6,3	Aa	3,3	Bb
10-20	SCC	3,9	Aa	4,0	Aa
	SPD	1,8	Ab	1,6	Ab

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna para cada profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kremer (P>0,05).

A distribuição dos teores de P Bray 1 em profundidade para cada sistema é apresentada na Figura 3. Observou-se para o SPD na camada de 0-5 cm maiores teores de P Bray 1 para ambas as fontes, ocorrendo reduções com o aumento da profundidade. Já no SCC para SFT na camada de 0-5 foi verificado maior teor de P Bray 1 em relação às duas camadas mais profundas. Ainda nesse sistema com o uso de FNR as duas camadas superficiais (0-5 e 5-10 cm) não diferem quanto aos teores de P Bray 1 e foram superiores ao teor da camada de 10-20 cm. Observa-se a inversão dos teores de P Bray 1 presente nos sistemas cultivo convencional e no plantio direto em profundidade, fato também observado por Nunes et al. (2011).

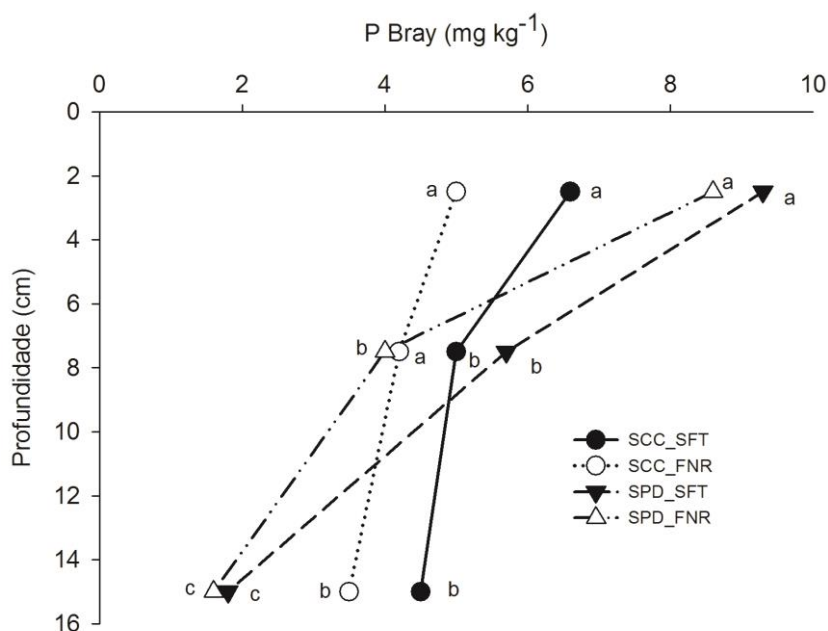


Figura 3. Distribuição do P Bray 1 em Latossolo sob sistema de cultivo convencional (SCC) e plantio direto (SPD), adubado com superfosfato triplo (SFT) e fosfato natural reativo (FNR), independentemente do modo de aplicação, na dose de 80 kg P₂O₅ ha⁻¹ por 17 anos e sem adubação no 18º ano. Letras iguais dentro de cada sistema em profundidade indicam que não há diferença entre os valores de P Bray 1 pelo teste de Tukey-Kramer ($p > 0,05$).

4.4. P orgânico

Na tabela 9 os teores apresentados de fósforo orgânico (P orgânico) variaram de 73,9 a 155,7 mg kg⁻¹. Estes teores estão dentro de uma faixa normalmente encontradas em diversos trabalhos (Rheinheimer et al., 1998; Partelli et al., 2009; Wang et al., 2011).

Os teores de P orgânico apresentados na camada de 0-5 cm para o SPD, independente da fonte e do modo de aplicação do adubo, são superiores ao SCC. Quando utilizada a fonte FNR o SPD foi superior ao SCC em todas as camadas estudadas. A manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo sob SPD reduz sua taxa de decomposição, aumentando o conteúdo de matéria orgânica (Bayer et al., 2004) e conseqüentemente o teor de P orgânico (Gatiboni et al., 2007).

Ainda na camada de 0-5 cm sob SPD o maior teor de P orgânico ocorreu no tratamento com FNR aplicado no sulco. Já para o SCC os teores de P orgânico foram

maiores para FNR em relação SFT nos dois modos de aplicação. Isso pode ser explicado pela solubilização gradativa do FNR, reduzindo a adsorção específica do P aos colóides do solo, favorecendo a conversão do P inorgânico em formas orgânicas (Buehler et al., 2002).

Observa-se na camada 5-10 cm para os tratamentos sob SPD, que quando aplicado FNR os teores de P orgânico são superiores em relação ao SFT. Isso justifica-se em decorrência do acúmulo de raízes, pois o desenvolvimento do sistema radicular das plantas é favorecido pela menor disponibilidade de P, quando adubado com FNR. Assim como foi relatado por Crusciol et al. (2005) onde cultivares de arroz priorizaram o desenvolvimento do sistema radicular em relação a parte aérea quando ocorreu a baixa disponibilidade de P.

A mesma resposta de P orgânico para os dois sistemas de cultivo é observada nas camadas de 5-10 e 10-20 cm. Maiores teores de P orgânico são verificados no SPD quando nos dois modos de aplicação do FNR em relação ao SCC, já para SFT em ambas as camadas os sistemas não diferiram.

Tabela 9. Distribuições do P orgânico em Latossolo sob sistema de cultivo convencional (SCC) e plantio direto (SPD), adubado com superfosfato triplo (SFT) e fosfato natural reativo (FNR) aplicados a lanço e no sulco de semeadura, na dose de 80 kg P₂O₅ ha⁻¹ por 17 anos e sem adubação no 18º ano.

Camada	Sistema	SFT				FNR			
		Lanço		Sulco		Lanço		Sulco	
----- mg kg ⁻¹ -----									
0-5	SCC	75,9	Bb	83,2	Bb	99,5	Ab	102,1	Ab
	SPD	140,8	Ba	123,9	Ca	131,5	BCa	155,7	Aa
5-10	SCC	86,1	Ba	81,1	BCa	75,3	Cb	96,4	Ab
	SPD	91,4	Ba	78,6	Ba	121,4	Aa	114,1	Aa
10-20	SCC	69,9	BCa	79,1	Aa	63,9	Cb	75,6	ABb
	SPD	73,9	Ba	78,1	Aa	82,8	Aa	85,6	Aa

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna para cada profundidade, não diferem entre si pelo Teste de Tukey-Kremer (P>0,05).

A distribuição dos teores de P orgânico em profundidade para cada sistema é apresentada na Figura 4. Os teores de P orgânico para o SPD, tanto para FNR quanto SFT, apresentaram maior concentração na camada de 0-5 cm. Esse comportamento tem

como consequência a menor oxidação de matéria orgânica nas camadas superficiais sob SPD. Como foi demonstrado por Figueiredo et al. (2008) onde o teor de matéria orgânica para o SPD é superior em relação aqueles encontrados para sistema convencional no Cerrado. Assim como da adição consecutiva de fertilizantes na camada superficial do solo, ausência de revolvimento do solo e diminuição da taxa de erosão (Gatiboni et al., 2007).

Sob SCC os teores de P orgânico para FNR foram superiores na camada de 0-5 cm e não diferiram para as camadas de maior profundidade, já para SFT ainda para a camada de 0-5 cm os teores são semelhantes para as duas maiores profundidades estudadas.

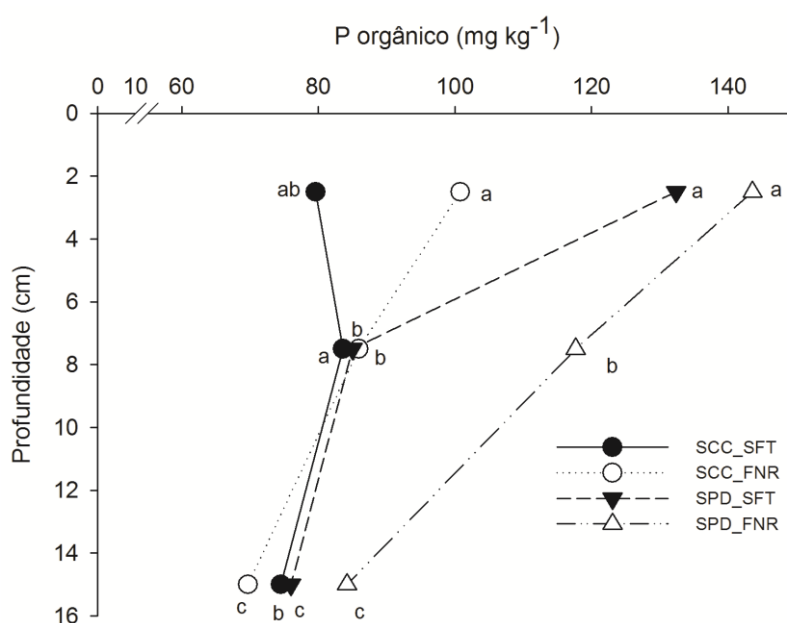


Figura 4. Distribuição do P Orgânico sob sistema de cultivo convencional (SCC) e plantio direto (SPD), adubado com superfosfato triplo (SFT) e fosfato natural reativo (FNR), independentemente do modo de aplicação. Letras iguais dentro de cada sistema em profundidade indicam que não há diferença entre os valores de P orgânico pelo teste de Tukey-Kramer ($p > 0,05$).

4.5. P microbiano

Os teores de P microbiano variam de 2,9 a 50,1 mg kg⁻¹ (Tabela 10). Estes valores estão dentro de uma faixa normalmente encontradas em diversos trabalhos,

quando avaliados sistemas de cultivos (Conte et al., 2002; Souza et al., 2008; Balota et al., 2012).

Os teores de P microbiano para o SPD na camada de 0-5 cm foram superiores ao SCC. O mesmo comportamento foi verificado por Rheinheimer et al. (2000), observando-se maiores teores de P microbiano em camadas superficiais para o SPD em relação SCC, fato decorrente da criação de condições favoráveis ao desenvolvimento microbiano proporcionado pelo SPD, como maior disponibilidade de substrato e aeração.

Na camada de 5-10 cm para os tratamentos sob SPD os teores de P microbiano foram superiores para SFT independente do modo de aplicação. Isso pode ser explicado em decorrência da maior disponibilidade de P quando utiliza-se SFT, favorecendo a incorporação de tal nutriente pelos microrganismos. De acordo com resultados de Gatiboni et al. (2008) em solos com baixos teores de P disponível a biomassa microbiana não foi capaz de imobilizar grandes quantidades de P.

No entanto, para as duas camadas superficiais, sob SCC, os teores de P microbiano não diferiram quanto ao modo de aplicação, para cada fonte do fertilizante fosfatado.

Na camada de 10-20 cm houve diferença entre os sistemas de cultivo nos teores de P microbiano apenas na adubação a lanço para as duas fontes de P. Ainda nessa camada, para o SCC os teores de P microbiano foram maiores quando do uso de ambas as fontes no sulco de semeadura. A aplicação localizada do fertilizante em profundidade pode elevar os teores de P microbiano, viabilizada pela disponibilidade de P pelos fertilizantes (Conte et al., 2002).

Analisando a média ponderada da camada de 0-20 cm, os teores de P microbiano foram de 11,6 e 20,9 mg kg⁻¹ para SCC e SPD, respectivamente. Esses valores comparados aos P extraível por Bray 1 (4,6 e 4,3 mg kg⁻¹ para SCC e SPD, respectivamente) indicam a importância do componente microbiano na disponibilização de P para as plantas.

Tabela 10. Teores de P microbiano em Latossolo sob sistema de cultivo convencional (SCC) e plantio direto (SPD), adubado com superfosfato triplo (SFT) e fosfato natural reativo (FNR) aplicados a lanço e no sulco de semeadura, na dose de 80 kg P₂O₅ ha⁻¹ por 17 anos e sem adubação no 18º ano.

Camada	Sistema	SFT				FNR			
		Lanço		Sulco		Lanço		Sulco	
----- mg kg ⁻¹ -----									
0-5	SCC	17,5	ABb	19,7	Ab	13,5	Bb	20,2	Ab
	SPD	31,3	Ca	50,1	Aa	38,4	Ba	46,0	Aa
5-10	SCC	15,9	Aa	17,4	Ab	13,2	Ab	19,5	Aa
	SPD	27,8	Ab	32,7	Aa	20,2	Ba	23,1	Ba
10-20	SCC	2,9	Cb	6,4	Ba	4,4	Bb	11,0	Aa
	SPD	8,9	Aa	6,4	Ba	8,4	ABa	8,8	Aba

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna para cada profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kremer (P>0,05).

A distribuição dos teores de P microbiano em profundidade para cada sistema é apresentada na Figura 5. Para o SPD observaram-se maiores teores de P microbiano para ambas as fontes na camada 0-5 cm ocorrendo a redução dos teores conforme aumento da profundidade. Já para o SCC os teores de P microbiano não diferiram entre as duas camadas superficiais (0-5 e 5-10 cm), com teores superiores aos da camada de 10-20 cm, considerando as duas fontes aplicadas. No SPD ocorrem elevados aportes de P microbiano na camada de 0-5 cm e a formação de um gradiente no perfil, enquanto que sob SCC teores inferiores são observados, decorrente do revolvimento do solo sob SCC influenciando na redução da matéria orgânica (Sapkota et al., 2012) que representa o principal reservatório de energia para os microrganismos, assim como na ruptura dos agregados do solo, conseqüentemente interferindo na umidade e temperatura do solo, desfavorecendo a população microbiana do solo (Babujia et al., 2010).

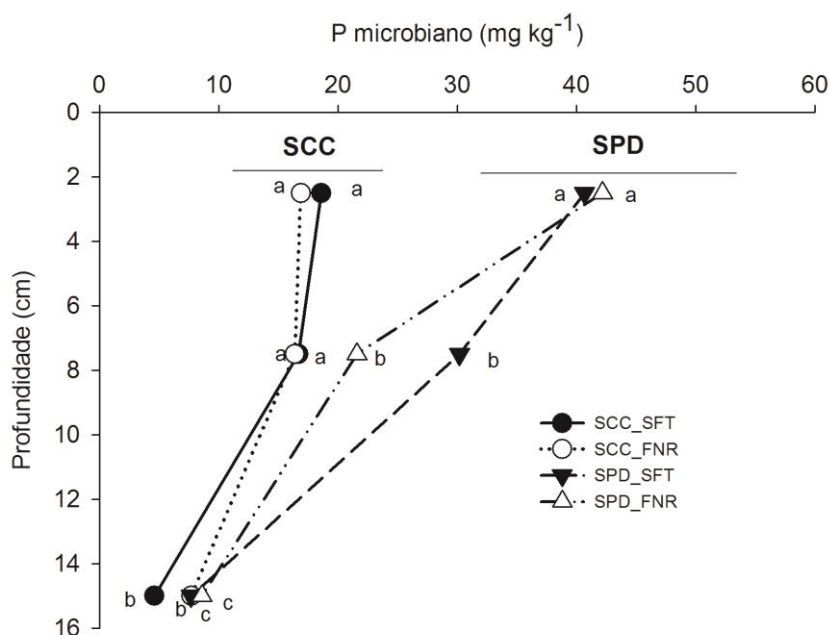


Figura 5. Distribuição do P microbiano sob sistema de cultivo convencional (SCC) e plantio direto (SPD), adubado com superfosfato triplo (SFT) e fosfato natural reativo (FNR), independentemente do modo de aplicação. Letras iguais dentro de cada sistema em profundidade indicam que não há diferença entre os valores de P microbiano pelo teste de Tukey-Kramer ($p > 0,05$).

4.6. Relação P microbiano/P orgânico

Ao analisar a relação entre o P microbiano e o P orgânico (P_{mic}/P_{org}) na Tabela 11, percebe-se que a relação entre tais frações de P foi maior no SPD na camada de 0-5 cm quando comparado ao SCC. Como a biomassa microbiana é o principal constituinte da matéria orgânica viva do solo (Silva & Mendonça, 2007), em áreas com maior deposição de resíduos orgânicos e elevada quantidade de raízes, como no SPD ocorre o aumento da biomassa e da atividade microbiana do solo (D'Andréa et al., 2002).

Para a camada de 0-5 cm, no SPD observou-se que o P microbiano representou de 22,2 a 40,5 % do P orgânico do solo. Estes valores estão próximos aos encontrados por Oliveira et al. (2011), que observaram que os teores de P microbiano do solo sob pastagem natural variaram de 11,4 a 57,3 mg kg⁻¹ representando, em média, 38 e 32 % do P orgânico total do solo.

A relação P_{mic}/P_{org} no SPD na camada de 5-10 cm foi maior apenas para a fonte SFT nos dois modos de aplicação comparando-se com o SCC e não diferiu para FNR. Isso pode ser explicado pela maior imobilização de P, quando se utilizou o SFT, pelos microrganismos, elevando-se o P microbiano em relação ao FNR (Tabela 10), obtendo-se uma maior relação para P_{mic}/P_{org}. Como foi demonstrado por Rheinheimer et al. (2008) a utilização de doses crescentes de fertilizantes ao solo elevou o P microbiano.

Na camada de 10-20 cm a relação P_{mic}/P_{org} sob SCC apresentou valor inferior na fonte SFT aplicada a lanço e inferior ao SPD com mesma fonte, aplicada no sulco. Em decorrência do maior contato gerado do fertilizante com o solo quando aplicado a lanço e intensificado pelo revolvimento pode elevar a adsorção deste ao solo sob SCC (Rheinheimer & Ibanor Anghinoni, 2001) interferindo na imobilização pelos microrganismos, ocasionando a redução do P microbiano.

Tabela 11. Relação P microbiano/P orgânico em Latossolo sob sistema de cultivo convencional (SCC) e plantio direto (SPD), adubado com superfosfato triplo (SFT) e fosfato natural reativo (FNR) aplicados a lanço e no sulco de semeadura, na dose de 80 kg P₂O₅ ha⁻¹ por 17 anos e sem adubação no 18º ano.

Camada	Sistema	SFT				FNR			
		Lanço		Sulco		Lanço		Sulco	
		----- % -----							
0-5	SCC	23,1	Aa	23,9	Ab	13,7	Bb	19,8	Ab
	SPD	22,2	Ca	40,5	Aa	29,4	Ba	29,6	Ba
5-10	SCC	18,5	Ab	21,4	Ab	17,5	Aa	20,2	Aa
	SPD	30,6	Ba	41,4	Aa	16,7	Ca	20,5	Ca
10-20	SCC	4,1	Cb	8,1	Ba	6,9	Ba	14,6	Aa
	SPD	12,1	Aa	8,3	Ca	10,1	ABa	10,2	ABb

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna para cada profundidade, não diferem entre si pelo Teste de Tukey-Kremer (P>0,05).

4.7. Fosfatase ácida

A atividade da enzima fosfatase ácida variou de 384 a 1192 µg de *p*-nitrofenol g⁻¹ solo h⁻¹ (Tabela 12). Estes valores estão dentro de uma faixa normalmente encontradas

em diversos trabalhos com sistemas de cultivo (Mendes et al., 2003; Mankolo et al., 2012; Conte et al., 2002).

A atividade da fosfatase ácida na camada de 0-5 cm foi maior para todos os tratamentos sob SPD em relação ao SCC e isso pode ser explicado pelo elevado teor de P orgânico na camada superficial (Tabela 8). O mesmo foi demonstrado por Conte et al (2002) onde tal atividade relaciona-se positivamente como os teores de P orgânico e carbono orgânico.

Percebe-se que na camada de 5-10 cm a atividade da fosfatase ácida não diferiu para os sistemas no tratamento onde o SFT é aplicado no sulco, no entanto foi maior sob SPD em todos os outros tratamentos. Conforme foi observado em outros trabalhos a atividade da fosfatase ácida é inversamente relacionada com os teores de P inorgânico (Mendes et al., 2003; Nanamori et al., 2004), dessa forma a aplicação localizada de fertilizantes fosfatados com maior solubilidade pode reduzir a atividade da fosfatase ácida, em consequência da maior disponibilização de P.

De modo geral, elevada atividade da fosfatase ácida foi observada para o SPD em relação ao SCC. Diversos fatores apresentados sob SPD influenciam positivamente essa atividade enzimática, como a manutenção de maiores teores de matéria orgânica protegendo as enzimas e favorecendo suas formas ativas (Deng & Tabatabai, 1997). Além disso, os microrganismos são os principais responsáveis pela produção da fosfatase ácida, decorrente de sua elevada renovação populacional (Carneiro et al., 2004), de modo que como o SPD é responsável por favorecer ambiente adequado para a microbiota do solo, elevada atividade enzimática foi proporcionada pela manutenção de tais microrganismos do solo.

Tabela 12. Enzima fosfatase ácida em Latossolo sob sistema de cultivo convencional (SCC) e plantio direto (SPD), adubado com superfosfato triplo (SFT) e fosfato natural reativo (FNR) aplicados a lanço e no sulco de semeadura, na dose de 80 kg P₂O₅ ha⁻¹ por 17 anos e sem adubação no 18^o ano.

Camada	Sistema	SFT				FNR			
		Lanço		Sulco		Lanço		Sulco	
----- µg de <i>p</i> -nitrofenol g ⁻¹ solo h ⁻¹ -----									
0-5	SCC	670,3	Ab	522,1	Bb	570,2	ABb	700,3	Ab
	SPD	1310,6	Aa	1192,0	ABa	1115,9	Ba	1185,5	ABa
5-10	SCC	440,7	Bb	517,0	ABa	458,5	Bb	646,0	Ab
	SPD	1002,3	Aa	494,2	Ca	778,9	Ba	792,4	Ba
10-20	SCC	390,5	Bb	473,6	Aa	416,3	Ba	384,0	Bb
	SPD	609,6	Aa	564,4	ABa	464,0	Ba	613,8	Aa

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna para cada profundidade, não diferem entre si pelo Teste de Tukey (P>0,05).

Apesar de a literatura apresentar a enzima fosfatase ácida como inversamente relacionada com os teores de P inorgânico (Mendes et al., 2003; Nanamori et al., 2004), os presentes dados demonstram que em sistemas consolidados, a campo, existe correlação direta entre a atividade desta enzima e o P inorgânico extraído por H₂SO₄ 0,5 M, bem como os índices de estimativa de P disponível por Mehlich 1 e Bray 1, apesar de em menor grau (Tabela 13). No entanto observa-se também que a maior correlação desta enzima ocorreu com o P orgânico (Figura 6).

Tabela 13. Coeficiente de correlação de Pearson para diversos parâmetros relacionados a dinâmica do fósforo em Latossolo sob sistema de cultivo convencional (SCC) e plantio direto (SPD), adubado com superfosfato triplo (SFT) e fosfato natural reativo (FNR) aplicados a lanço e no sulco de semeadura, na dose de 80 kg P₂O₅ ha⁻¹ por 17 anos e sem adubação no 18º ano.

	Parâmetro				
	P Bray 1	P Mehlich 1	P microbiano	Fosfatase	P orgânico.
P Bray 1	1				
P Mehlich 1	0,56	1			
P microbiano	0,66	0,58	1		
Fosfatase	0,56	0,57	0,79	1	
P orgânico	0,56	0,65	0,76	0,85	1

Nos solos intemperizados e com baixa disponibilidade de P como os do presente estudo, a aplicação de P inorgânico na forma de fertilizante determina a produção agrícola de grãos. Desta forma o aumento no P inorgânico do solo ocorre concomitante ao aporte de biomassa vegetal e consequentemente aumento de C e P orgânico do solo. Desta forma, em sistemas estabelecidos a campo por muitos anos a atividade da enzima fosfatase ácida está muito mais relacionada os teores de P orgânico, substrato da enzima, do que à disponibilidade de P inorgânico.

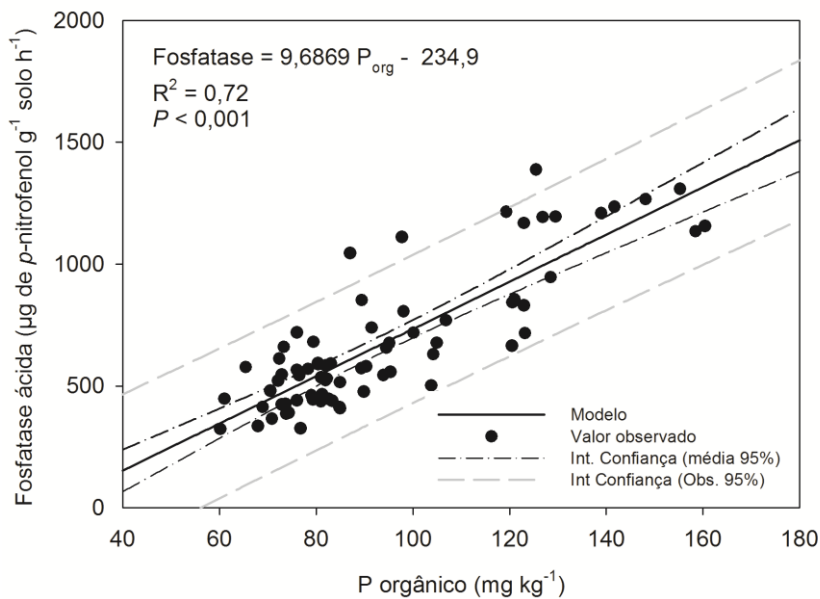


Figura 6. Relação entre o P orgânico e a atividade da enzima fosfatase ácida em Latossolo sob sistemas de manejo, fontes e forma de aplicação de adubo fosfatado.

5. CONCLUSÕES

- 1) No SPD os teores P disponível por Mehlich 1, Bray 1, P orgânico, P microbiano e atividade da enzima fosfatase ácida foram superiores ao SCC na camada superficial (0 a 5 cm), independentes da fonte e do modo de aplicação.
- 2) No SCC o teor de P disponível por Mehlich 1 não sofreu influência do modo de aplicação para o FNR e SFT em todas as camadas.
- 3) O teor de P orgânico para SPD é maior quando se utilizou o FNR em relação ao SCC para todas as camadas estudadas.
- 4) Independente do sistema de manejo, da fonte e do modo de aplicação do adubo fosfatado, a atividade da fosfatase ácida apresentou elevada correlação com o fósforo orgânico.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, P.A.; OLIVEIRA, F.A.; MARQUES, L.F.; RODRIGUES, A.F.; SANTOS, F.G.B. Efeitos da aplicação do fósforo no crescimento da cultura do girassol. **Revista Verde**, 5:148 -155, 2010.

ALVES, V.M.C, MAGALHÃES, J.V.; VASCONCELLOS C.A; NOVAIS, R.F. BAHIA FILHO, A.F.C. FRANÇA, G.E.; OLIVEIRA, C.A.; FRANÇA, C.C.M. Acúmulo de nitrogênio e de fósforo em plantas de milho afetadas pelo suprimento parcial de fósforo às raízes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:299-305, 1999.

AMADO, T.J.C.; BAYER, C. ELTZ, F.L.F.; BRUM, A.C.R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:189-197, 2001.

ARAÚJO, W.F.; SAMPAIO, R.A.; MEDEIROS, R.D. Resposta de cultivares de soja à adubação fosfatada. **Revista Ciência Agronômica**, 36:129-134, 2005.

BABUJIA, L.C.; HUNGRIA,M.; FRANCHINI, J.C.; BROOKES, P.C. Microbial biomass and activity at various soil depths in a Brazilian oxisol after two decades of no-tillage and conventional tillage. **Soil Biology & Biochemistry**, 42:2174-2181, 2010.

BALOTA, E.L.; MACHINESKI, O.; MATOS, M.A. Soil microbial biomass under different tillage and levels of applied pig slurry. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. 16:487-495, 2012.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:599-607, 2000.

BAYER, C.; MARTIN NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 39:677-683, 2004.

BECK, M.A. & SANCHES, P.A. Soil phosphorus fraction dynamics during 18 years of cultivation on a Typic Paleudult. **Soil Science**, 34:1424-1431, 1994.

BORTOLON, L.; GIANELLO, C. SCHLINDWEIN, J.A. Avaliação da disponibilidade de fósforo no solo para o milho pelos métodos Mehlich-1 e Mehlich-3. **Scientia Agraria**, 10:305-312, 2009.

BRAY, R.H.; KURTZ, L.T. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. **Soil Science**, 59:39-45, 1945.

BRAVO, C.A.; GIRALDEZ, J.V.; ORDOÑEZ, R.; GONZALEZ, P.; TORRES, F. P. Long-term influence of conservation tillage on chemical properties of surface horizon and legume crops yield in a vertisol of Southern Spain. **Soil Science**, 172:141-148, 2007.

BROOKES, P.C.; POWLSON, D.S.; JENKINSON, D.S. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. **Soil Biology & Biochemistry**, 14:319-329, 1982.

BUEHLER, S.A.; OBERSON, A.; RAO, I.M.; FIESEN, D.K.; FROSSARD, E. Sequential phosphorus extraction of a ³³P-labeled oxisol under contrasting agricultural systems. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 66:868-877, 2002.

CASTOLDI, G.; FREIBERGER, M.B.; CASTOLDI, G.; COSTA, C.H.M. Manejo da adubação em sistema plantio direto. **Revista Trópica**, 6:62-74, 2012.

CARNEIRO, G.R.; MENDES, S.I.C.; LOVATO, P.E.; CARVALHO, A.M.; VIVALDI, L.J. Indicadores biológicos associados ao ciclo do fósforo em solos de cerrado utilizando Plantio Direto e Plantio Convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 39:661-669, 2004.

CERETTA, C.A. & SILVEIRA, M.J. Aduabação nitrogenada no sistema plantio direto. Nitrogênio no milho: épocas e formas de aplicação. In: **Curso de fertilidade do solo em plantio direto**, 5 Guarapuava. Resumos. p. 115-127, 2002

CESSA, R.M.A.; CELI, L.; VITORINO, A.C.T.; NOVELINO, J.O.; BARBERIS, E. Área superficial específica, porosidade da fração argila e adsorção de fósforo em dois Latossolos vermelhos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:1153-1162, 2009.

CHIEN, S.H. & HAMMOND, L.L. A comparison of various laboratory methods for predicting the agronomic potencial of phosphate rocks for direct application. **Society of America Journal**, 42:935-939, 1978.

CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; ERNANI, P.R. FONTOURA, S.M.V.; ALBUQUERQUE, J.A.; WOBETO, C. Acidificação de um latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:1055-1064, 2002.

COUTINHO, E.L.M.; NATELE, W.; VILLA NOVA, A.S.; SITTA, D.S.X. Eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados para a cultura de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 26:1393-1399, 1991.

CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D.S. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatase ácida após aplicação de fosfato em solo no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:925-930, 2002.

Conab - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira (2012)**. Disponível em: www.conab.gov.br. Acesso em 18 fevereiro, 2013.

CORRÊA, R.M.; NASCIMENTO, C.W.A.; FREIRE, F.J.; SOUZA, S.K.S.; SILVA, G.B. Disponibilidade e níveis críticos de fósforo em milho e solos fertilizados com fontes fosfatadas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, 3:218-224, 2008.

CRUSCIOL, C.A.C. MAUAD, M.; ALVAREZ, R.C.F.; LIMA, E.V.; TIRITAN, C.S. Doses de fósforo e crescimento radicular de cultivares de arroz de terras altas. **Bragantia**, Campinas, 64:p.643-649, 2005.

D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O.; CARNEIRO, M.A.C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região

do Cerrado no sul do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:913-923, 2002.

DENG, S.P. & TABATABAI, M.A. Effect of tillage and residue management on enzyme activities in soils: 3 phosphatases and arylsulfatases. **Biology and Fertility of Soils**, 24:141-146, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 212p. 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. CERRADOS. O Cerrado. Disponível em: www.cpac.embrapa.br/unidade/ocerrado/. Acesso em 15 fevereiro 2013.

ERNANI, P.R.; STECKLING, C.; BAYER, C. Características químicas de solo e rendimento de massa seca de milho em função do método de aplicação de fosfatos, em dois níveis de acidez. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:939-946, 2001.

FALLEIRO, R.M.; SOUZA, R.M.; SILVA, C.S.W.; SEDIYAMA, C. S. SILVA, A.A.; FAGUNDES, A.A. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:1097-1104, 2003.

FIGUEIREDO, C.C.; RAMOS, M.L.G.; TOSTES, R. Propriedades físicas e matéria orgânica de um latossolo vermelho sob sistemas de manejo e cerrado nativo. **Bioscience Journal** 24:24-30, 2008.

FEBRAPDP – FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA. **Área de plantio direto**. Disponível em: www.febrapdp.org.br. Acesso em 16 janeiro 2013.

FONTOURA, S.M.V.; VIEIRA, R.C.B.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; MORAES, R.P. Eficiência técnica de fertilizantes fosfatados em latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:1907-1914, 2010.

FRANZINI, V.I.; MURAOKA, T.; CORASPE-LEON, H.M.; MENDES, F.L. Eficiência de fósforo natural reativo aplicado em misturas com superfosfato triplo em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 44:1092-1099, 2009.

GASPARIM, E.; RICIERI, R.P.; SILVA, S.L.; DALLACORT, R.; GNOATTO, E. Temperatura no perfil do solo utilizando duas densidades de cobertura e solo nu. **Acta Scientiarum**, 27:107-115, 2005.

GATIBONI, D. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas**. 231f. Tese Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, 2003.

GATIBONI, L.C.; RHEINHEIMER, D.S.; FLORES, A.F.C.; ANGHINONI, I.; KAMINSKI, J.; LIMA, M.A.S. Phosphorus forms and availability assessed by ³¹P-NMR in successively cropped soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 36:2625-2640, 2005.

GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J. RHEINHEIMER, D.S.; FLORES, J.P.C. BIODISPONIBILIDADE DE FORMAS DE FÓSFORO ACUMULADAS EM SOLO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:691-699, 2007.

GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S.; BRUNETTO, G. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatases ácidas durante a diminuição do fósforo disponível no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 43:1085-1091, 2008.

GUERRA, J.G.M.; FONSECA, M.C.; ALMEIDA, D.L.; DE-POLL, H.; FERNANDES, M.S. Conteúdo de fósforo da biomassa microbiana de um solo cultivado com *Brachiaria decumbens* stapf. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 30:543-551, 1995.

GUARESCHI, R.F.; GAZOLLA, P.R.; SOUCHIE, E.L.; ROCHA, A.C. Adubação fosfatada e potássica na semeadura e a lâncõ antecipada na cultura da soja cultivada em solo de Cerrado. **Ciências Agrárias**, 29:769-774, 2008.

HOROWITZ, N. & MEURER, E.J. Eficiência de dois fosfatos naturais farelados em função do tamanho da partícula. **Ciência Rural**, 33:41-47, 2003.

IBGE (2006) **Mapa de Biomas do Brasil**. Disponível em: < www.ibge.gov.br > Acesso em: 22 Jan. 2013.

LEITE, L.F.C.; GALVÃO, S.R.S.; HOLANDA NETO, M.R.; ARAÚJO, F.S.; IWATA, B.F. Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 14;1273–1280, 2010.

LOPES, A.S. & DAHER, E. Agronegócio e Recursos Naturais no Cerrado: desafios para uma coexistência harmônica. In: FALEIRO, F.G. & NETO, A.L.F. **Savanas: Desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais**. 2008.

MANKOLO, R.; REDDY, C.; SENWO, Z.; NYAKATAWA, E.; SAJJALA, S. Soil Biochemical Changes Induced by Poultry Litter Application and Conservation Tillage under Cotton Production Systems. **Agronomy**, 2:187-198, 2012.

MATOS, M.A.; SALVI, J.V.; MILAN, M. Pontualidade na operação de semeadura e a antecipação da adubação e suas influências na receita líquida da cultura da soja. **Engenharia Agrícola**, 26:493-501, 2006.

MENDES, I.C.; SOUZA, L.V.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C. Propriedades biológicas em agregados de um latossolo vermelho-escuro sob plantio convencional e direto no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:435-443, 2003.

NANAMORI, M.; SHIIMANO, T.; WASAKI, J.; YAMAMURA, T.; RAO, I.M.; OSALI, M. Low phosphorus tolerance mechanisms: phosphorus recycling and photosynthate partitioning in tropical forage grass, *Brachiaria* hybrid cultivar mulato compared with rice. **Plant Cell Physiol.**, 45:460-469, 2004.

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

NOVAIS, R.F & SMITH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 399 pp, 1999.

NUNES, R.S.N.; SOUSA, D.M.G.; GOEDERT, W.J.; VIVALDI, J.L. Distribuição de fósforo no solo em razão do sistema de cultivo e manejo da adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35:877-888, 2011.

OLSEN, S.R. & SOMMER, L.E. Phosphorus. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H. & KEENEY, Q.R., eds. *Methods of soil analysis, Part 2. Chemical and microbiological properties*. 2.ed. Madison, ASA-Soil Science Society American, p.403-430, 1982

OLIVEIRA, G.C.; DIAS JUNIOR, M.S.; RESCK, D.V.S.; CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um latossolo vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:327-336, 2004.

OLIVEIRA, L.B.; TIECHER, T.; QUADROS, F.L.F.Q.; SANTOS, D.R. Fósforo microbiano em solos sob pastagem natural submetida à queima e pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35:1509-1515, 2011.

OURIVES, O.E.A.; SOUZA, G.M.; TIRITAN, C.S.; SANTOS, D.H. Fertilizante orgânico como fonte de fósforo no cultivo inicial de *brachiaria brizantha* cv. Marandú. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 40:126-132, 2010.

PANACHUKI, E. **Infiltração de água no solo e erosão hídrica sob chuva simulada em sistema de integração agricultura-pecuária**. 67p. Dissertação Mestrado – Programa de Pós-graduação em Agronomia. Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, 2003.

PARTELLI, F.L.; BUSATO, J.G.; VIEIRA, H.D.; VIANA, A.P.; CANELLAS, L.P. Qualidade da matéria orgânica e distribuição do fósforo no solo de lavouras orgânicas de café Conilon. **Ciência Rural**, 39:2065-2072, 2009.

PEDROSO NETO, J.C.; SOUZA, J.A.; PAES, J.M.V.; CIOCIOLA, A.I. Caracterização química do latossolo vermelho da fazenda escola da FAZU. **Revista FAZU**, 5:34-38, 2008.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M.; ROQUE, C.G. Resposta da cultura do milho a modos de aplicação e doses de fósforo, em adubação de manutenção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:83-90, 2001.

RAMOS, S.J.; FAQUIN, V.; RODRIGUES, C.R.; SILVA, C.A.; BOLDRIN, P.F. Biomass production and phosphorus use of forage grasses fertilized with two phosphorus sources. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:335-343, 2009.

RESENDE, A.V.; FURTINI NETO, A.E.; ALVES, V.M.C.; MUNIZ, J.A.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KIMPARA, D.I.; SANTOS, J.Z.L.; CARNEIRO, L.F. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:453-466, 2004.

RESENDE, M. CURI, N.; RESENDE, S.B. CORRÊA, G.F. In: **Pedologia: base para distinção ambientais**. Editora UFLA, p. 322, 2007.

RHEINHEIMER, D.S.; KAMINSKI, J.; LUPATINI, G.C.; SANTOS, E.J.S.; Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:713-721, 1998.

RHEINHEIMER, D.S.; ANGHINONI, I.; CONTE, E. Fósforo da biomassa microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:589-597, 2000.

RHEINHEIMER, D.S. & ANGHINONI, I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, 36:151-160, 2001.

RHEINHEIMER, D.S.; MARTINAZZO, R.; GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J.; SILVA, L.S. Amplitude no fósforo microbiano em um Argissolo em pastagem nativa submetida à roçada e à introdução de espécies forrageiras com fertilização fosfatada em diferentes épocas. **Acta Scientiarum**, 30:561-567, 2008.

RHEINHEIMER, D.S.; GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, 38: 576-586, 2008.

RICHARDSON, A.E.; HADOBAS, P.A.; HAYES, J.E.; O'HARA, C.P.; SIMPSON, R.J. Utiliation of phosphorus by pasture plants supplied with myo-inositol hexaphosphate is enhanced by the presence of soil micro-organisms. **Plant Soil**, 229:47-56, 2001.

SAFFIGNA, P.G.; BROOKES, P.C.; THOMAS, G.A. Influence of sorghum residues and tillage on soil organic matter and soil microbial biomass in an Australian vertisol. **Soil Biology and Biochemistry**, 21:759-765, 1989.

SALTON, J.C. & MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho-Escuro de Eldorado do Sul (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 19:313-319, 1995.

SANTOS, E.A. & KLIEMANN, J.E. Disponibilidade de fósforo de fosfatos naturais em solos de cerrado e sua avaliação por extratores químicos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 35:139-146, 2005.

SANTOS, J.Z.L.; FURTINI NETO, A.E.; RESENDE, A.V.; CARNEIRO, L.F.; CURI, N. & MORETTI, B.S. Resposta do feijoeiro à adubação fosfatada em solos de cerrado com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35:193-202, 2011.

SALES, L.E.O.; FERREIRA, M.M.; OLIVEIRA, S.M.; CURI, N. Estimativa da velocidade de infiltração básica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 34:2091-2095, 1999.

SAPKOTA, T.B.; MAZZONCINI, M.; BÀRBERI, P.; ANTICHI, D.; SILVESTRI, N. Fifteen years of no till increase soil organic matter, microbial biomass and arthropod diversity in cover crop-based arable cropping systems. **Agronomy**, 32:853-863, 2012.

SCHLINDWEIN, J.A. & ANGHINONI I. Variabilidade horizontal de atributos de fertilidade e amostragem do solo no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:85-91, 2000.

SEELING, B. & ZASOSKI, R.J. Microbial effects in maintaining organic and inorganic solution phosphorus concentrations in grassland topsoil. **Plant and Soil**, 148:277-284, 1993.

SELLES, F.; KOCHHANN, R.A.; DENARDIN, J.E.; ZENTNER, R.P.; FAGANELLO, A. Distribution of phosphorus fractions in Brazilian Oxisol under different tillage systems. **Soil and Tillage Research**. 44:23-34, 1997.

SILVA, I.R. & MENDONÇA, E.S. Matéria Orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVARES, V.H.V.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**, 2007.

SILVA, F.A.M.S.; ASSAD, E.D.; STEINKE, E.T.; MULLER, A.G.; Clima do Bioma Cerrado. In: ALBUQUERQUE, A.C.S.; SILVA, A.G. **Agricultura Tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**, 2008.

SILVA, S.A.; LIMA, J.S.S.; SOUZA, G.S.; OLIVEIRA, R.B. de; SILVA, A.F.; Variabilidade espacial do fósforo e das frações granulométricas de um Latossolo Vermelho Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 41:1-8, 2010.

SILVEIRA, P.M. & STONE, L.F. Profundidade de amostragem do solo sob plantio direto para avaliação de características químicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:157-162, 2002.

SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E. **Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado**. Piracicaba, Potafos16p. (Informações Agronômicas, 102), 2003.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E.; REIN, T.A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E.(Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Embrapa Cerrados 416p, 2004.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E.; GOEDERT, W.J. Manejo da Fertilidade do solo no Cerrado. In: ALBUQUERQUE, A.C.S.; SILVA, A.G. **Agricultura Tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**, 2008.

SOUSA, D.M.G.; REIN, T.A.; LOBATO, E. Solubilidade e eficiência agronômica de fosfatos naturais reativos avaliados com a cultura de soja em um latossolo de Cerrado. In: FALEIRO, F.G.; FRAIAS NETO, A.L. **Menções honrosas**. Embrapa Cerrados, p.232-237, 2009.

SOUSA, D.M.G.; REIN, T.A.; GOEDERT, W.J.; LOBATO, E.; NUNES, R.S.; Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes fosfatados. In: PROCHNOW, H.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**, 2010.

SOUZA, E.D.; COSTA, S.E.V.G.A; LIMA, C.V.S.; ANGHINONI, I.; MEURER, E.J.; CARVALHO, P.C.F. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistema de integração agricultura-pecuária submetido a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:1273-1282, 2008.

STEINER, F.; LANA, M.C.; FRANDOLOSO, J.F.; FEY, R.; ZOZ, T. Métodos de avaliação da disponibilidade de fósforo para a cultura da soja em solos do paraná. **Synergismuscy scientifica**, v. 4, n. 1, 2009.

TABATABAI, M.A. Soil enzymes. In: WEAVER, R.W.; ANGLE, J.S.; BOTTOMLEY, P.S. **Methods of soil analysis; microbiological and biochemical properties**. Soil Science Society of America, p. 775—883, 1994.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:301-309, 1998.

VALLADARES, G.S.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. Adsorção de fósforo em solos de argila de atividade baixa. **Bragantia, Campinas**, 62:111-118, 2003

WANG, J.B.; CHEN, Z.H.; CHEN, L.J.; ZHU, A.N.; WU, Z.J. Surface soil phosphorus and phosphatase activities affected by tillage and crop residue input amounts. **Plant Soil Environ**, 57:251–257, 2011.