

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

**ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS
RELACIONADOS AO CARBONO ORGÂNICO DO
SOLO SOB SISTEMAS DE MANEJO, FONTES E
MODOS DE APLICAÇÃO DE FÓSFORO**

SARA DANTAS ROSA

Brasília, DF

Março de 2013

SARA DANTAS ROSA

**ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS
RELACIONADOS AO CARBONO ORGÂNICO DO
SOLO SOB SISTEMAS DE MANEJO, FONTES E
MODOS DE APLICAÇÃO DE FÓSFORO**

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

ROSA, Sara Dantas

“ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS RELACIONADOS AO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO SOB SISTEMAS DE MANEJO, FONTES E MODOS DE APLICAÇÃO DE FÓSFORO” Orientação: Cícero Célio de Figueiredo, Brasília, 2013. 50 páginas.

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

1. Atividade enzimática 2. Biomassa microbiana 3. Plantio Direto

I. Figueiredo, C.C.de. II. Drº.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ROSA, S.D. Atributos microbiológicos relacionados ao carbono orgânico do solo sob sistemas de manejo, fontes e modos de aplicação de fósforo. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2013, 50 páginas. Monografia.

CESSÃO DE DIREITOS

Nome do Autor: SARA DANTAS ROSA

Título da Monografia de Conclusão de Curso: Atributos microbiológicos relacionados ao carbono orgânico do solo sob sistemas de manejo, fontes e modos de aplicação de fósforo.

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.

SARA DANTAS ROSA

**ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS
RELACIONADOS AO CARBONO ORGÂNICO DO
SOLO SOB SISTEMAS DE MANEJO, FONTES E
MODOS DE APLICAÇÃO DE FÓSFORO**

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 a minha mãe
Francisca Dantas, grande exemplo de vida
e a minha família por ser a razão de cada
dia da minha vida.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelas oportunidades e conquistas alcançadas durante a vida e por minha família.

Ao professor Dr. Cícero Célio de Figueiredo, pela inspiração dada para o início da vida acadêmica, confiança, orientação, dedicação, ensinamentos, compreensão mediante contratempos e pela amizade e momentos de descontração.

Aos meus pais - minha mãe Francisca Dantas, pela paciência, amor, pelo exemplo de vida, por estar sempre ao meu lado e por sempre escutar as reclamações, tristeza e alegrias da vida acadêmica, e meu pai Pedro.

A minha família – Alencar Dantas, por me dar paz quando eu não tinha, por todos os momentos felizes, por as viagens, por as risadas, por as brigas, por todo apoio, por recarregar minhas energias a cada almoço de domingo, por me dar razão de seguir lutando pelos meus sonhos e por me ensinar que o maior tesouro da vida é a família; e a minha irmã Sabrina Dantas por estar sempre comigo desde a infância.

A uma pessoa especial – Julio Pérez, que mesmo distante sempre me deu forças para seguir, pelo seu amor e carinho e por me alegrar sempre.

Aos amigos – Taís Duarte, amiga de infância por sempre estar disposta a me ouvir independente de tudo; Larissa Gomes pelo companheirismo e aventuras nos congressos; Amanda Kristina; Gabriela Passos; Heyder Lopes; Ingrid Vasconcelos; Talita Gomes; Thaís Nicoline; Tamíris Alves; Yumi Fukushi, pelo companheirismo e amizade durante a graduação.

Aos amigos do intercâmbio Argentina - Priscila Pianaro; Júnior Melo; Ernesto Dillon; Camy Godoy, amigos que ficaram eternizados pela amizade, companheirismo e carinho.

A equipe do Laboratório de Estudos da Matéria Orgânica do solo – em especial aos mestrandos Juliana Sato, pelo coração de mãe e irmã; Rodrigo Fernandes, pelos desabafos, companhia e auxílio das atividades laboratoriais e Géssica Souza, pelo exemplo de mãe e profissional.

Aos pesquisadores da Embrapa Cerrados - Rafael Nunes, pelo apoio e ensinamentos durante a realização do trabalho final de curso e Djalma Martinhão Gomes de Sousa, por sua dedicação nos estudos dos solos do Cerrado e disposição em copartilhar tais experiências.

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

Muito obrigada!

“O conhecimento é o alimento da alma.”

Platão

ROSA, Sara Dantas. **Atributos microbiológicos relacionados ao carbono orgânico do solo sob sistemas de manejo, fontes e modos de aplicação de fósforo.** 2013. Monografia (Bacharelado em Agronomia). Universidade de Brasília – UnB.

RESUMO

A utilização de forma inadequada dos solos do Cerrado tem provocado a sua degradação, com alterações na matéria orgânica do solo (MOS). O sistema de plantio direto (SPD) devido ao não revolvimento e à manutenção da MOS sobre a superfície do solo promove a melhora dos atributos microbiológicos ligados ao ciclo do carbono orgânico do solo (CO), além de manter a temperatura do solo, diminuir a perda de água por evaporação e evitar a erosão. Ainda são poucos os trabalhos no Cerrado que demonstrem as relações entre a aplicação de fontes e modos diferenciados de adubo fosfatado e os componentes da MOS. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de sistemas de manejo, fontes e modos de aplicação de fósforo nos atributos microbiológicos ligados ao carbono orgânico do solo. Foi utilizado um experimento localizado na área experimental da Embrapa Cerrados, em Planaltina – DF, em Latossolo Vermelho muito argiloso, cultivado por 18 anos com culturas de soja e milho, e milheto como planta de cobertura, sob sistema de preparo convencional (SPC) ou sistema de plantio direto 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, por 17 anos e sem adubação fosfatada no 18º ano. Os atributos avaliados foram carbono orgânico (CO), carbono da biomassa microbiana (Cmic), β -glucosidase e quociente microbiano ($q\text{Mic}$), nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. De maneira geral foi verificada pouca influência das fontes e dos modos de aplicação de P nos atributos microbiológicos e no CO. As maiores diferenças foram verificadas na camada de 0 a 5 cm. Nesta camada, o SPD apresentou maiores teores de CO e Cmic e de β -glucosidase do que o SPC, independente da fonte e do modo de aplicação do P. Elevada correlação foi verificada entre os teores de CO e a atividade da β -glucosidase sob SPD. Cmic e β -glucosidase apresentaram alta sensibilidade aos efeitos de sistema, fonte e modo de aplicação de fósforo.

Palavras-chave: atividade enzimática; biomassa microbiana; plantio direto.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Distribuição em profundidade de carbono orgânico de Latossolo sob sistemas de manejo. SPC- sistema de cultivo convencional; SPC- sistema de plantio direto. Letras maiúsculas comparam sistemas dentro de cada profundidade e letras minúsculas comparam profundidades dentro de cada sistema. Letras iguais indicam ausência de diferença pelo teste de Tukey-Kremer, a 5% de probabilidade..... 33
- Figura 2 - Atividade da enzima β -glucosidase em profundidade de Latossolo sob sistemas de manejo. SPC- sistema de cultivo convencional; SPC- sistema de plantio direto. Letras maiúsculas comparam sistemas dentro de cada profundidade e letras minúsculas comparam profundidades dentro de cada sistema. Letras iguais indicam ausência de diferença pelo teste de Tukey-Kremer, a 5% de probabilidade. 38
- Figura 3 - Relação entre carbono orgânico e atividade da enzima β -glucosidase em Latossolo sob sistema de manejo, fontes e modos de aplicação de fósforo, considerando todas as amostras. *** ($P<0,01$). 42
- Figura 4 - Relação entre carbono orgânico e atividade da enzima β -glucosidase em Latossolo sob plantio direto com o uso de fontes e modos de aplicação de fósforo. *** ($P<0,01$). 42
- Figura 5 - Relação entre carbono orgânico e atividade da enzima β -glucosidase em Latossolo sob sistema de cultivo convencional com o uso de fontes e modos de aplicação de fósforo. *** ($P<0,01$). 43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Atributos químicos e granulométricos do solo antes da implementação do experimento, na camada de 0 a 20 cm ⁽¹⁾	25
Tabela 2- Descrição dos tratamentos do experimento utilizados no presente estudo. ...	25
Tabela 3 Interação entre fontes de variação para CO, β -glucosidase, Cmic e q_{Mic}	31
Tabela 4 - Carbono orgânico do solo (CO), em g kg ⁻¹ , sob plantio convencional e direto com diferentes fontes e modos de aplicação de fósforo por 17 anos e sem adubação fosfatada no 18° ano.	32
Tabela 5 - Carbono da biomassa microbiana, em mg kg ⁻¹ , em Latossolo sob plantio convencional e direto com diferentes fontes e modos de aplicação de fósforo por 17 anos e sem adubação fosfatada no 18° ano.	35
Tabela 6 - β -glucosidase, em $\mu\text{g } p\text{-nitrofenol h}^{-1}\text{g}^{-1}$ solo, em Latossolo sob plantio convencional e direto com diferentes fontes e modos de aplicação de fósforo por 17 anos e sem adubação fosfatada no 18° ano.	37
Tabela 7 – Quociente microbiano, em %, sob plantio convencional e direto com diferentes fontes e modos de aplicação de fósforo por 17 anos e sem adubação fosfatada no 18° ano.....	40

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1	Importância do Bioma Cerrado.....	15
2.2	Sistemas de cultivo utilizados no Cerrado	16
2.2.1	Plantio Convencional.....	16
2.2.2	Plantio Direto.....	17
2.3	Adubos fosfatados utilizados em solos do Cerrado	18
2.4	Modos de aplicação de adubos fosfatados	19
2.5	Efeito de sistemas de manejo e adubação fosfatada sobre o carbono orgânico e microbiano e a atividade da enzima β -glucosidase do solo	20
3	MATERIAL E MÉTODOS:	24
3.1	Localização e caracterização da área experimental	24
3.2	Amostragem do solo	26
3.3	Análises laboratoriais.....	27
3.3.1	Carbono orgânico	27
3.3.2	Carbono da biomassa microbiana.....	27
3.3.3	β -glucosidase	29
3.4	Análises estatísticas	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1	Carbono orgânico.....	31
4.2	Carbono da biomassa microbiana	34

4.3	β -glucosidase	37
4.4	Quociente microbiano	39
4.5	Correlações entre carbono orgânico e atividade da β -glucosidase	41
5	CONCLUSÕES.....	44
6	REFRÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

1 INTRODUÇÃO

Devido ao crescimento da população mundial e a necessidade por alimentos, a produção agrícola no Cerrado foi estimulada por diversos planos governamentais por possuir terras que são favoráveis para mecanização agrícola e solos com boas características físicas. No entanto, o uso intensivo de forma inadequada dos solos dessa região provoca degradação física e química e conseqüentemente diminui a produtividade dos solos. Práticas de manejo conservacionistas são uma das alternativas para a preservação da qualidade física, química e biológica dos solos.

Nesse contexto, o preparo convencional promove o revolvimento que desprotege a matéria orgânica do solo (MOS) e a torna suscetível a ação microbiana com a liberação de C-CO₂ à atmosfera e conseqüente diminuição dos estoques de carbono do solo (Lal, 2008), além da lixiviação de nutrientes. Sistemas de manejo com ausência de revolvimento, como o SPD, apresentam a tendência de proteger o solo de erosão, aumenta a permeabilidade e o teor de MOS, proporciona melhor fertilidade física e química além de outras vantagens, devido ao não revolvimento do solo, sendo uma alternativa para os solos do Cerrado.

A disponibilidade de fósforo nos solos do Cerrado é muito baixa, sendo indispensável para a produção agrícola o uso de fertilizantes fosfatados (Sousa et al., 2004). O manejo comum da adubação fosfatada no Cerrado constitui-se de aplicações no sulco de semeadura de fontes solúveis de P. Aplicações de fosfato na superfície torna-se uma interessante alternativa em sistemas de produção que se beneficiem com maior rapidez no plantio. Estudos demonstram que o P em sistema de plantio direto se limita até 10 cm de profundidade e em sistema de plantio convencional até 20 cm, independente da fonte e do modo de aplicação (Nunes et al., 2011a).

O uso de fertilizantes fosfatados promove maior produção de biomassa vegetal, que, depositada sobre a superfície do solo ou pelo sistema radicular, ao ser decomposta pelo microrganismo, parte da matéria orgânica produzida é incorporada, aumentando os estoques de carbono orgânico (CO) do solo. Sistema de manejo com ausência ou mínimo revolvimento do solo apresentam tendência em armazenar mais CO. Uma alternativa para aumentar o teor CO no solo é o uso de gramíneas forrageiras que favorece elevada deposição de CO no solo na forma de raízes (Rangel et al., 2007). Os

teores de carbono orgânico do solo são favorecidos pela adubação fosfatada (Jerke et al., 2012). Essa adubação permite uma maior produção de biomassa vegetal para culturas como milho, soja, milheto e mucuna, portanto uma maior incorporação de C no solo (Nunes et. al., 2011b).

A biomassa microbiana do solo (BMS) representa o compartimento central do ciclo do C no solo e pode funcionar ainda como compartimento de reserva de nutrientes, como o P ou como catalisador na decomposição do C orgânico (Souza et al., 2008). A quantidade e a composição da BMS são influenciadas por diversos fatores, entre os quais o sistema de cultivo, a rotação de culturas e a textura do solo (Venzke Filho et al., 2008). Assim, a quantidade e a qualidade dos resíduos vegetais depositados sobre a superfície do solo pode alterar consideravelmente sua população microbiana. Por outro lado, a deficiência de fósforo no solo limita a produção de biomassa pelas culturas, tanto pela parte aérea quanto pelas raízes, pois o fósforo participa diretamente no crescimento das plantas, impactando na MOS e na BMS (Nunes et al., 2011b).

A influência da adubação fosfatada sobre o aumento da produção de biomassa pelas culturas é dependente da ação da microbiota do solo, cuja atividade está diretamente ligada a atividade enzimática do solo. A β -glucosidase é a enzima responsável pela etapa final da degradação da celulose. Essa enzima é sintetizada pelos microrganismos do solo em resposta à presença de substrato adequado, tendo relação direta com CO e Cmic (Turner et al., 2002). A atividade da β -glucosidase está relacionada com o aumento da adição de resíduos vegetais de baixa complexidade e, portanto, com a ciclagem de C no solo (Lisboa et al., 2012). Dessa forma, os efeitos da adubação fosfatada sobre os teores de CO, biomassa microbiana e atividade enzimática em Latossolo do Cerrado precisam ser melhor compreendidas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de sistemas de manejo, fontes e modos de aplicação de fósforo nos atributos microbiológicos ligados ao carbono orgânico do solo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Importância do Bioma Cerrado

O Cerrado possui uma grande diversidade natural, ocupando uma área de 2.036.488 km² cerca de 24 % do território brasileiro, o segundo maior bioma da América do Sul (IBGE, 2004). Está localizado no Planalto Central brasileiro, além de encaves no Amapá, Roraima e Amazonas. Possui um elevado potencial aquífero onde se encontram as nascentes das principais bacias hidrográficas do Brasil (Amazônica, São Francisco e Prata). O Cerrado é dos biomas brasileiros que mais sofreu alterações com a ocupação humana, decorrente da abertura de novas áreas para expansão da fronteira agrícola, tendo 49,1% da sua área devastada (IBGE 2012).

Os Latossolos predominam no Cerrado brasileiro, presentes em 46% da área do bioma, seguidos por Neossolo Quartzarênico (15,2%) e Argissolos (15,1%), entre outros. As principais classes com importância agrícola na região são Latossolos, Argissolos, Nitossolo Vermelho e Neossolo Quartzarênico (Sousa et al., 2008).

Os Latossolos que predominam no Cerrado apresentam pH ácido normalmente entre 4,8 a 5,1. São solos antigos, profundos, bem drenados, distróficos, com baixa fertilidade natural (Lopes et al., 2008). A baixa fertilidade natural dos solos dessa região não se constitui um obstáculo para agricultura, pois devido às boas características físicas destes solos a correção de acidez e o uso de fertilizantes tornam estes solos aptos para a agricultura (Klink e Machado, 2005).

Devido ao crescimento da população mundial e a necessidade por alimentos, a produção agrícola no Cerrado foi estimulada por diversos planos governamentais por possuir terras que são favoráveis para mecanização agrícola e solos com boas características físicas. Desta forma, nas últimas quatro décadas o Cerrado apresentou um desenvolvimento agrícola excepcional, tornando-se referência no mercado nacional e internacional, sendo destaque na produção de grãos.

Com menos de 50 anos de produção agrícola o bioma já conta com 61 milhões de hectares de pastagens cultivadas, 21 milhões de hectares de culturas anuais e 3,5 milhões de hectares de culturas perenes e florestais. Na produção agrícola nacional

contribui com 60% da soja, 59% do café, 45% do feijão, 44% do milho, 81% do sorgo. A região ainda é responsável por 55% da produção nacional de carne bovina. A expansão desse bioma continua, culturas como girassol, trigo, seringueira, hortifrutigranjeiros, avicultura, desenvolvem-se rapidamente no bioma (Silva et al., 2008).

2.2 Sistemas de cultivo utilizados no Cerrado

2.2.1 Plantio Convencional

Nas primeiras décadas de ocupação, a atividade agrícola do Cerrado era dominada pelo uso de diversos implementos de preparo do solo, principalmente, pelas boas condições físicas e topográficas dos solos da região.

O preparo do solo tem como objetivo principal proporcionar condições químicas e físicas ideais para a instalação de um cultivo, além da eliminação de plantas invasoras. No plantio convencional (SPC) o solo é revolvido para reduzir a compactação do solo, para a incorporação de fertilizantes e corretivos aplicados em superfície, aumentar a permeabilidade e o armazenamento de água e ar, facilitando o crescimento das raízes e auxiliar no controle de patógenos (Cruz et al., 2006).

Apesar da utilização de implementos para o preparo do solo ser uma prática milenar, o uso excessivo de equipamentos de preparo causa a desagregação da estrutura do solo, compactação da camada subsuperficial do solo, aumenta a erosão, e a consequente lixiviação de nutrientes. O uso correto das técnicas de preparo do terreno é fundamental para evitar a degradação física, química e biológica do solo.

Outra desvantagem do preparo convencional é a redução dos teores de carbono orgânico (CO) do solo. Essa redução pode ser atribuída às operações mecanizadas de revolvimento do solo, que desestabilizam a matéria orgânica do solo (MOS) e a tornam suscetível a ação microbiana com a liberação de C-CO₂ à atmosfera e consequente diminuição dos estoques de carbono do solo (Lal, 2008).

Em decorrência dessas limitações impostas pelo revolvimento intenso do solo no Cerrado, houve a necessidade de implementação de sistemas de manejo menos agressivos e que possibilitassem o aumento dos estoques de matéria orgânica para a manutenção da qualidade produtiva dos solos dessa região.

2.2.2 Plantio Direto

O plantio direto surgiu em meados dos anos de 1970, cuja área apresentou expressivo crescimento na década de 90, inicialmente na Região Sul do país e posteriormente na região dos Cerrados. Esse aumento ocorreu por esse sistema aliar princípios conservacionistas a baixo custo energético e conseqüentemente um maior retorno econômico (Sá et al., 2009).

Sistemas conservacionistas como plantio direto e integração lavoura pecuária, dentre outros, têm recebido maior atenção por parte dos pesquisadores por serem capazes de proporcionar maior estabilidade e sustentabilidade da produção agrícola em relação aos sistemas predominantes (Souza et al., 2008). Tais sistemas protegem o solo de erosão, aumentam a permeabilidade e o teor de MOS, proporcionam melhor fertilidade física e química além de outras vantagens.

O plantio direto consiste na ausência ou no mínimo revolvimento do solo, com manutenção constante de cobertura vegetal sobre o solo, de plantas em desenvolvimento ou de resíduos vegetais (Cruz et al., 2006).

A cobertura vegetal tem a função de proteger o solo do impacto das gotas da chuva, do escoamento superficial e da erosão, manter a temperatura do solo, diminuir a perda de água por evaporação e, com a decomposição, incorporar matéria orgânica ao solo proporcionando melhor qualidade química, física e biológica. Devido ao não revolvimento do solo o sistema de plantio direto mantém a estabilidade dos agregados, mantendo a estrutura física do solo e evitando a compactação subsuperficial (Bertoni & Lombardi Neto, 2008).

Segundo Cruz et al.(2006), na implantação do sistema plantio direto é indispensável que o esquema de rotação de culturas promova na superfície do solo a

manutenção permanente de uma quantidade de palhada superior a 4,0 t/ha de fitomassa seca, considerando-se uma quantidade segura de 6,0 t/ha. Gramíneas como milho proporcionam uma boa quantidade de matéria seca. A rotação soja-milho apresenta grande vantagem na deposição de matéria seca e inclusive ganhos em rendimento de ambas as culturas.

Um fator que limita a expansão do plantio direto no Cerrado é a reduzida disponibilidade de espécies para a rotação que se adaptem ao clima da região e que apresentem boa produção de matéria seca para cobertura do solo (Cruz et al., 2006).

2.3 Adubos fosfatados utilizados em solos do Cerrado

A disponibilidade de fósforo nos solos do Cerrado é muito baixa, sendo indispensável para a produção agrícola o uso de fertilizantes fosfatados (Sousa et al., 2004).

Os fertilizantes fosfatados podem ser classificados quanto às solubilidades em água, citrato neutro de amônio (CNA) e ácido cítrico (AC). Conhecendo-se os produtos e sua solubilidade pode-se prever sua eficiência agronômica (Sousa et al., 2004).

O Super Fosfato Triplo (SFT) é uma fonte de fósforo com alta solubilidade em água, quando aplicado ao solo dissolve-se rapidamente. É utilizado principalmente na forma de grãos, com a finalidade de diminuir o volume de solo com o qual reage, reduzindo o processo de adsorção no solo. Os fertilizantes com alta solubilidade em água são produtos de elevada eficiência agronômica para qualquer condição de solo e cultura no Cerrado e correspondem a mais de 90% de P_2O_5 utilizado na agricultura brasileira. Além do SFT, são solúveis em água o superfosfato simples, fosfato monoamônico (MAP) e diamônico (DAP) (Sousa et al., 2004).

Os fosfatos naturais brasileiros são classificados como insolúveis em água. Sua dissolução no solo é muito lenta, tendo uma eficiência agronômica muito baixa. Os produtos com média solubilidade em água e em CNA correspondem aos fosfatos parcialmente solubilizados com ácido sulfúrico, produzidos de concentrados fosfáticos nacionais. Os termofosfato e produtos à base de fosfato bicálcico são classificados como

insolúveis em água e com alta solubilidade em CNA e AC. O termofosfato quando aplicado na forma finamente moída apresenta alta eficiência agrônômica (Sousa et al., 2004).

Devido à existência de grandes jazidas de fosfato natural (FNs) e ao seu baixo custo, este tem se tornado um atrativo para agricultura. No entanto, os FNs apresentam baixa reatividade, e, como consequência a baixa ou lenta liberação de P para as plantas. Sendo utilizado para fosfatagem corretiva, não sendo muito eficaz na adubação de implementação. Os FNs são insolúveis em água e com média solubilidade em AC (Novais et al., 2007).

Todavia, alguns FNs são classificados como reativos por apresentarem média a elevada solubilidade em AC ou ácido fórmico, como Gafsa, Arad e Norte Carolina. Estes fertilizantes fosfatados têm-se mostrado tão ou mais eficiente para suprir P para as plantas de ciclo curto quanto às formas mais solúveis (Sousa et al., 2008). O Fosfato de Gafsa é um fosfato natural reativo (FNR) e já foi comercializado na forma moída, mas atualmente é vendido na forma não-moída, que facilita a aplicação, mas resulta em menor eficiência agrônômica para culturas anuais de primeiro ano (Sousa et al., 2004).

A vantagem do FNR é que este por ser insolúvel em água, a disponibilização de P para as plantas ocorre de forma gradual reduzindo a adsorção ou precipitação do P. No entanto, em solos com baixa disponibilidade de fósforo o SFT é mais eficiente num primeiro momento, quando comparado com o FNR (Sousa et al., 2008).

2.4 Modos de aplicação de adubos fosfatados

O manejo comum da adubação fosfatada no Cerrado constitui-se de aplicações no sulco de semeadura de fontes solúveis de P. Aplicações de fosfato na superfície torna-se uma interessante alternativa em sistemas de produção que se beneficiem com maior rapidez no plantio, a qual pode ser obtida com a adubação antecipada ou após este.

A distribuição de P extraível no solo é influenciada pela fonte de fertilizante fosfatado, pelo modo de aplicação e pelo sistema de manejo (Nunes et al., 2011a).

Em sistemas de plantio convencional a distribuição de P em profundidade no solo é semelhante na aplicação a lanço e sulco, devido ao revolvimento do solo pelo arado que promove a homogeneização das camadas superficiais.

Em SPD, ocorre acúmulo de P na região de aplicação do fertilizante fosfatado, devido ao não revolvimento do solo. No entanto, este tem alta capacidade de redistribuição quando aplicado em sulco mesmo para fontes de baixa solubilidade em água, como o FNR. Na aplicação a lanço, observa-se acúmulo de P na camada superficial enquanto na aplicação no sulco ocorre acúmulo na camada abaixo de 5 cm de profundidade (Nunes et al., 2011a).

Desta forma Nunes et al. (2011a) avaliando o efeito da adubação fosfatada por 14 anos observou que o P em SPD se limita até 10 cm de profundidade e em SPC até 20 cm, independente da fonte e do modo de aplicação.

2.5 Efeito de sistemas de manejo e adubação fosfatada sobre o carbono orgânico e microbiano e a atividade da enzima β -glucosidase do solo

A biomassa vegetal depositada sobre a superfície do solo ao ser decomposta pelo microrganismo incorpora CO ao solo, assim como as raízes. Estas são as responsáveis pela maior deposição de CO, por isso sistemas sob plantio direto proporcionam altos teores de CO no solo, pois aliam a deposição de biomassa na superfície do solo com gramíneas com sistema radicular desenvolvido.

Sistema de manejo com ausência ou menor revolvimento do solo apresentam tendência em armazenar mais CO. Uma alternativa para aumentar o teor CO no solo é o uso de gramíneas forrageiras que favorece elevada deposição de CO no solo na forma de raízes (Rangel et al., 2007).

No Cerrado a produção de biomassa vegetal é limitada devido às altas temperaturas e fertilidade natural do solo. A adubação fosfatada permite uma maior produção de biomassa vegetal para culturas como milho, soja, milheto e mucuna, portanto uma maior incorporação de C no solo (Nunes et. al., 2011b).

Os teores de carbono orgânico do solo são favorecidos pela a adubação fosfatada. Sistemas que recebem adubação fosfatada apresentam menor redução do teor de carbono ao longo dos anos em comparação a sistemas que não recebem adubação fosfatada (Jerke et al., 2012).

Ainda segundo Jerke et al. (2012), quando o fósforo é aplicado em sulco há maior volume de solo com teores médio e adequado de CO quando comparados a tratamentos com aplicação a lanço. Isso pode estar relacionado, principalmente a adição de nutrientes na camada de 5 a 10 cm que pode aumentar a concentração de raízes em profundidade proporcionando maior acúmulo de carbono orgânico no solo.

A biomassa microbiana do solo (BMS) é definida como a parte viva da matéria orgânica do solo (MOS), composta por microrganismos menores que $5 \times 10^{-3} \mu\text{m}$, como fungos, bactéria, actinomicetos, e pela microfauna, como os protozoários. A BMS é um componente lábil da fração orgânica do solo e representa de 1 a 4% do C orgânico total do solo (Jenkinson & Polwison, 1976).

Os microrganismos são responsáveis pelo processo de ciclagem de nutrientes e formação e decomposição da MOS do solo. A biomassa microbiana está permanentemente em renovação, obtendo energia da MOS, atuando assim como fonte e dreno (mineralização/imobilização temporária) dos nutrientes necessários ao desenvolvimentos das plantas (Ferreira et al., 2007).

A quantidade e a composição da BMS são influenciadas por diversos fatores, entre os quais o sistema de cultivo, a rotação de culturas e a textura do solo (Venzke Filho et al., 2008). Assim a quantidade e a qualidade dos resíduos vegetais depositados sobre a superfície do solo pode alterar consideravelmente sua população microbiana.

A BMS representa o compartimento central do ciclo do C no solo e pode funcionar ainda como compartimento de reserva de nutriente, como P orgânico ou como catalisador na decomposição do C orgânico (Souza et al., 2008).

Por representar a parte viva e mais ativa da matéria orgânica do solo é mais sensível a remoção da cobertura vegetal nativa (Matsuoka et al., 2003). Determinados compartimentos da matéria orgânica do solo são mais sensíveis em detectar as

mudanças nos conteúdos de C no solo associados ao manejo, onde em uma escala de sensibilidade a BMS está em primeira ordem (Xavier et al., 2006).

A deficiência de fósforo no solo limita a produção de biomassa pelas culturas, tanto pela parte aérea quanto pelas raízes, pois o fósforo participa diretamente no crescimento das plantas. De forma cíclica, isso interfere diretamente na redução das populações microbianas do solo em decorrência da baixa entrada no solo de substrato microbiano pela biomassa das culturas.

Por ser um constituinte dele o Cmic segue a mesma dinâmica do CO (Nunes et al., 2011b). Assim em solos com diferentes fontes e modos de aplicação de adubação fosfatada o Cmic tende a se comportar como o CO.

Apesar da importância da biomassa microbiana para a ciclagem de P no solo, ainda são poucos os trabalhos que demonstram a influência da adubação fosfatada com fontes e modos de aplicação diferenciadas sobre a biomassa microbiana.

Das enzimas presentes no solo as que degradam a matéria orgânica possuem um particular interesse, sendo uma delas a β -glucosidase que é responsável pela etapa final da degradação da celulose, componente principal dos polissacarídeos das plantas. Essa enzima é sintetizada pelos microrganismos do solo em resposta à presença de substrato adequado, tendo relação direta com CO e Cmic (Turner et al., 2002).

A β -glucosidase é um indicador biológico sensível para identificar alterações no solo sob diferentes sistemas de manejo (Matsuoka et al., 2003), pois desempenha papel fundamental no ciclo da matéria orgânica (Turner et al., 2002). A atividade da β -glucosidase está relacionada com o aumento da adição de resíduos vegetais e, portanto, com a ciclagem de C no solo (Lisboa et al., 2012).

Maiores valores de atividade da β -glucosidase podem estar relacionadas a presença de resíduos orgânicos de origem vegetal, esses resíduos podem funcionar como fontes dessa enzima ou como estímulo para a sua produção, indução pela presença de substrato. Maiores teores de matéria orgânica no sistema de plantio direto comparativamente aos de área de sistema de preparo convencional promove aumento na atividade da β -glucosidase (Mendes et al., 2002). Práticas de manejo diferenciadas com cobertura viva aumentam a atividade dessa enzima (Matsuoka et al., 2003).

Baixa atividade da β -glucosidase em camadas mais profundas pode ser consequência da maior complexidade dos resíduos vegetais, acarretando uma menor entrada de resíduos carbonados de rápida decomposição (Matsuoka et al., 2003).

3 MATERIAL E MÉTODOS:

3.1 Localização e caracterização da área experimental

O estudo foi realizado 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 com temperatura média anual de 21,3 °C. O relevo é caracterizado como plano, a vegetação original é o Cerrado. O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico muito argiloso (64 % de argila).

O experimento foi estabelecido tendo como objetivo principal a avaliação agrônômica de fontes, níveis e modo de aplicação do P no solo, sendo 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 cultivada sob sistema plantio direto (SPD). O delineamento utilizado foi de faixas em esquema fatorial completo (2x2) com três repetições.

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 1) 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. Foram efetuadas adubações anuais de manutenção, a lanço, com 80 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio, 30 kg ha⁻¹ de S na forma de gesso, além de, para o milho, 30 kg ha⁻¹ de N no sulco de semeadura e duas coberturas de 60 kg ha⁻¹ de

N na forma de uréia, segundo Sousa & Lobato (2004b). A adubação anual com P foi feita na dose de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ do primeiro até o 17º ano de cultivo, sendo que a fonte e modo de aplicação de P variaram de acordo com cada tratamento, conforme Tabela 2.

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

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	27	9,0	64

(1) Segundo os métodos descritos em Embrapa (1997).

Tabela 2- Descrição dos tratamentos do experimento utilizados no presente estudo.

Tratamento	Fonte ⁽¹⁾	Granulometria	Dose kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ ano ⁻¹ (1º ao 17º cultivo)	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, com solubilidade do P₂O₅ total em ácido cítrico 2% (1:100) de 92% e ácido fórmico 2% (1:100) de 88%, para amostras moídas (< 0,063 mm); FNR = fosfato natural reativo de Gafsa, com solubilidade do P₂O₅ total em ácido cítrico 2% (1:100) de 44% e ácido fórmico 2% (1:100) de 74%, para amostras moídas (< 0,063 mm).

O primeiro cultivo foi realizado na safra 1994/95 com a cultura da soja (*Glycine max*), que foi cultivada nos nove primeiros anos até a safra 2002/03 com espaçamento de 0,5 m. Neste período não houve a utilização de plantas de cobertura no inverno. Na safra 2003/04 cultivou-se o milho (*Zea mays*) (10º ano de cultivo) com espaçamento de 0,8 m, nos anos seguintes houve rotação entre milho e soja, até o 17º cultivo com milho. No 18º cultivo (safra 2011/12) a área passou a ser cultivada em monocultivo de milho, com os mesmos tratamentos culturais dos anos anteriores, mas sem receber adubação

fosfatada anual, para observar a biodisponibilidade de P no solo. Os cultivos de soja e milho receberam irrigação suplementar por aspersão em situações de veranico, ou seja, situação de seca durante a estação chuvosa. A irrigação era definida com base em tensiômetros instalados nas parcelas a 20 cm de profundidade quando estes apresentavam leitura maior que 45 cbar. O milheto (*Pennisetum glaucum*) foi utilizado como planta de cobertura após o nono cultivo com espaçamento de 0,2 m, sendo semeado após a colheita da soja ou milho, recebendo irrigação suplementar para seu desenvolvimento sem limitação de água, e roçado no início da maturação fisiológica.

A área útil de colheita foi de 15 m² para a soja e 12 m² para o milho. As dimensões das parcelas experimentais foram de 8 m x 4 m (32 m² de área). Desde o ano de 2008 o milheto utilizado como planta de cobertura recebe adubação de 45 kg ha⁻¹ de N (uréia) visando maior produção de biomassa.

3.2 Amostragem do solo

Para realização deste trabalho foram selecionados 8 tratamentos do experimento original: SFT e FNR, em aplicação anual do 1° ao 17° cultivos a lanço e no sulco, na dose de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅, ambos cultivados sob SPC e SPD (Tabela 2).

As amostras foram coletadas em janeiro de 2012 na fase de floração do milho, no 18° cultivo, em três profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm sendo uma amostra composta por cada parcela. Para a coleta foi utilizado o trado com anel volumétrico de 100 cm³ e 5 cm de diâmetro. Cada amostra 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).

As amostras foram divididas em duas alíquotas, sendo a primeira imediatamente passadas na peneira de malha de 4 mm e armazenadas em geladeira para determinações microbiológicas e a segunda alíquota seca ao ar (TFSA) e passada em peneira de 0,5 mm para determinações do carbono orgânico do solo.

3.3 Análises laboratoriais

3.3.1 Carbono orgânico

Uma alíquota da subamostra de TFSA foi passada em peneira de 0,5 mm. Posteriormente esse material foi utilizado para a análise do carbono orgânico (CO) da amostra total. O teor CO foi determinado segundo método Walkley & Black (1934). O método baseia-se na oxidação por via úmida com dicromato de potássio 1N ($K_2Cr_2O_7$) na presença de ácido sulfúrico (H_2SO_4), sem aquecimento externo e titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,5 N [$Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$].

3.3.2 Carbono da biomassa microbiana

A determinação do carbono da biomassa microbiana (C_{mic}) foi realizada pelo método extração-irradiação, proposto por Islam & Weil (1998). As amostras foram armazenadas a uma temperatura de aproximadamente 4°C. Uma alíquota foi passada em peneira de malha de 2 mm e colocada para secar ao ar por 24 horas. Pesaram-se seis sub-amostras de 20 g, três irradiadas e três não irradiadas. As amostras foram irradiadas em forno microondas por 137 segundos (tempo de exposição para seis amostras de 20 g). O tempo de irradiação foi calculado em função da potência real do forno microondas, que foi medida da seguinte forma: aqueceu-se 1L de H_2O e mediu-se a variação de temperatura da água antes e 120 segundos após exposição ao microondas (Equação 1.).

$$P = \frac{C_p \cdot K \cdot \Delta T \cdot m}{t} \quad \text{Equação 1.}$$

Em que:

P = potência real do aparelho em W;

$C_p = 1 \text{ J ml}^{-1} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$, capacidade da água de receber calor;

K = 4,184, fator de correção de cal $\text{J ml}^{-1} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$ para watts (J S^{-1});

ΔT = variação de temperatura de 1L de H₂O em 2 minutos de exposição em °C;

m = 1000 g, massa da água em gramas;

t = 120 s, tempo de exposição da água ao microondas.

Em seguida, o tempo de exposição foi determinado de acordo com a equação 2.

$$t = \frac{r.m}{P} \quad \text{Equação 2.}$$

Em que:

t = tempo de exposição das amostras ao microondas;

r = 800 J. g⁻¹ de solo, quantidade de energia necessária para a exposição;

m = peso total das amostras a serem irradiadas em gramas;

P = potência real do aparelho em W.

Após a irradiação, a extração foi realizada com 80 mL K₂SO₄ a 0,5 mol L⁻¹ pH entre 6,5-6,8 submetidas à agitação por 30 minutos em agitador horizontal a 150 rpm, posteriormente deixadas em repouso por aproximadamente 30 minutos. Filtrou-se o sobrenadante em recipientes de plástico com auxílio de papel de filtro quantitativo lento com porosidade 8µm.

Para determinação do carbono microbiano uma alíquota de 8 mL do filtrado foi transferida para um erlenmeyer de 250 mL, acrescentaram-se 2 mL de K₂Cr₂O₇ 0,066 mol L⁻¹ e 10 mL de H₂SO₄ com dosador e esperou-se esfriar. Posteriormente acrescentaram-se 50 mL de água destilada e novamente esperou-se esfriar, foram adicionadas 3 gotas do indicador ferroin e titulou-se o excesso de dicromato de potássio com sulfato ferroso amoniacal 0,033 mol L⁻¹.

O carbono da biomassa microbiana (CBM) foi calculado pela fórmula: $CBM = (CI - CNI) / K_{ec}$, onde, CI e CNI: representam o total de carbono orgânico liberado das subamostras irradiadas e não irradiadas, respectivamente; o K_{ec} : fator que representa a quantidade de carbono proveniente da biomassa microbiana. Os valores de K_{ec} citados

na literatura são muito variáveis. Neste estudo utilizou-se o $K_{ec} = 0,33$ (Mendonça & Matos, 2005).

Com base nos resultado dos teores de CO e Cmic foi calculado a relação CO/Cmic, ou quociente microbiano (q_{Mic}), expressa em porcentagem, usando-se a seguinte fórmula: $(Cmic/CO) \times 100$.

3.3.3 β -glucosidase

A enzima β -glucosidase foi determinada de acordo com Tabatabai (1994), baseando-se na determinação colorimétrica do *p*-nitrofenol liberado por essas enzimas, quando o solo é incubado com uma solução tamponada de substrato específico. 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 são 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 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 feita 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 (CO, Cmic e β -glucosidase) avaliadas como distribuição em profundidade (dados repetidos no espaço) o modelo assume a seguinte forma:

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

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 Tukey-Kremer ($P < 0,05$) foi utilizado para distinção das médias.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 são apresentadas as significância dos valores de F da análise de variância para os efeitos de sistemas de cultivo, fonte e modo de aplicação de fósforo (P) e suas interações. Observou-se interação quádrupla para os atributos Cmic e *q*Mic. Para o CO, verificou-se que foi significativa a interação entre sistema, fonte e modo de aplicação de P (Tabela 3). Foram verificadas interações duplas para a β -glucosidase entre sistema e fonte, sistema e modo de aplicação, fonte e profundidade, e sistema e profundidade.

Tabela 3 Interação entre fontes de variação para CO, β -glucosidase, Cmic e *q*Mic.

Fonte de variação	CO	β -glucosidase	Cmic	<i>q</i> Mic
Sistema	0,8401	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Fonte	0,2033	0,9144	0,0265	0,0371
Modo	0,6155	0,3625	0,6973	0,4799
Fonte*Modo	0,2476	0,8432	0,0639	0,0250
Sistema*Fonte	0,6331	0,0305	0,0390	0,0318
Sistema*Modo	0,1952	0,0265	0,3092	0,4423
Sistema*Fonte*Modo	0,0303	0,1742	0,2101	0,3728
Profundidade	<0,0001	<0,0001	0,0027	0,0004
Sistema*Prof.	<0,0001	<0,0001	0,0003	0,3528
Fonte*Prof.	0,7302	0,0300	0,2293	0,1733
Modo*Prof.	0,0432	0,2613	0,8398	0,1693
Fonte*Modo*Prof.	0,0504	0,8189	0,0600	0,1489
Sistema*Fonte*Prof.	0,1608	0,6369	0,0045	0,0002
Sistema*Modo*Prof.	0,5012	0,5093	0,1727	0,2254
Sistema*Fonte*Modo*Prof.	0,8556	0,3014	0,0077	0,0107

4.1 Carbono orgânico

Os teores de CO variaram de 14,4 a 26,0 g kg⁻¹ (Tabela 4). Esses teores estão dentro de uma faixa de valores normalmente encontrados em solos do Cerrado sob sistema de manejo (Figueiredo et al., 2010; Carmo et al., 2012; Guareschi et al., 2012; Jerke et al., 2012; Pragna et al., 2012).

Tabela 4 - Carbono orgânico do solo (CO), em g kg⁻¹, sob plantio convencional e direto com diferentes fontes e modos de aplicação de fósforo por 17 anos e sem adubação fosfatada no 18º ano.

Sistema de manejo ⁽¹⁾	Fonte de P ⁽²⁾	Modo de aplicação ⁽³⁾	Profundidade		
			0-5	5-10	10-20
SPC	SFT	L	19,8	19,5	18,0
SPC	SFT	S	20,4	21,2	18,5
SPC	FNR	L	20,1	19,9	19,0
SPC	FNR	S	20,7	19,3	17,3
SPD	SFT	L	26,0	18,5	15,6
SPD	SFT	S	24,7	18,4	15,1
SPD	FNR	L	24,6	18,3	15,2
SPD	FNR	S	25,0	18,3	14,4

⁽¹⁾SPC- sistema de cultivo convencional; SPD- sistema de plantio direto. ⁽²⁾ SFT- superfosfato triplo; FNR- fosfato reativo natural. ⁽³⁾ L- lanço; S- sulco.

Como não foi significativa a interação quádrupla entre sistema, fonte, modo de aplicação e profundidade para CO, optou-se por trabalhar com a interação dupla entre sistema e profundidade que foi significativa.

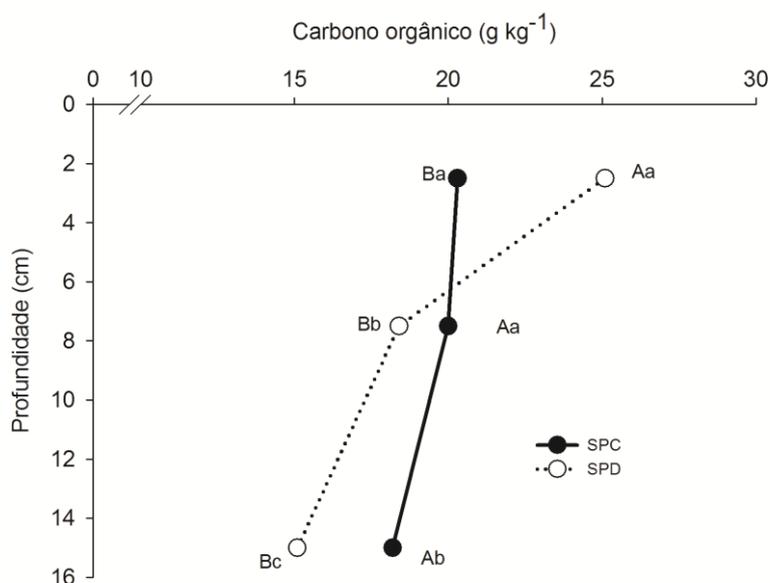


Figura 1 - Distribuição em profundidade de carbono orgânico de Latossolo sob sistemas de manejo. SPC- sistema de cultivo convencional; SPD- sistema de plantio direto. Letras maiúsculas comparam sistemas dentro de cada profundidade e letras minúsculas comparam profundidades dentro de cada sistema. Letras iguais indicam ausência de diferença pelo teste de Tukey-Kramer, a 5% de probabilidade.

Na camada de 0-5 cm os tratamentos sob SPD apresentaram maiores teores de CO do que aqueles sob SPC (Figura 1). Esses teores no SPD foram cerca de 20% superiores aos do SPC. Carneiro et al. (2008), comparando diferentes sistemas de manejo também encontraram maiores teores de CO no SPD em relação ao SPC, avaliando na profundidade de 0-10 cm. Reduções dos teores de CO em sistemas sob plantio convencional na camada de 0-5 cm ocorrem devido ao revolvimento promovido pelo preparo do solo, que incorpora os resíduos vegetais abaixo de 10 cm de profundidade, além de promover a ruptura de agregados, conseqüentemente, expõe a matéria orgânica a processo de oxidação biológica mais intensa, reduzindo, assim, sua concentração no solo (Carneiro et al., 2008).

Na camada de 10-20 cm os tratamentos sob SPC apresentaram maiores teores de CO do que aqueles sob SPD. Maiores teores de CO nas camadas mais profundas sob sistema de preparo convencional ocorrem devido ao uso do arado que revolve e promove a homogeneização do solo, levando resíduos orgânicos às camadas mais profundas. No sistema de plantio direto o solo não é revolvido, assim resíduos vegetais se concentram na camada superficial ocorrendo a estratificação do CO.

Rangel et al. (2007), estudando frações da MOS e estoques de C e N em Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo observaram que sistemas de manejo com ausência ou menor revolvimento do solo apresentaram tendência a armazenar mais CO.

Segundo Jerke et al. (2012), os teores de CO são favorecidos pela adubação fosfatada independente do modo de aplicação, tanto em profundidade quanto na distribuição horizontal. Isso pode ser explicado pelo fato do P proporcionar maior produção de biomassa vegetal, que ao ser decomposta incorpora CO ao solo, e devido ao maior desenvolvimento radicular

O aporte de CO no solo pelas raízes ocorre em maior quantidade até 10 cm e decresce em profundidade. A raiz do milho é responsável por cerca de 40 a 47% do aporte do CO em sistema convencional e plantio direto respectivamente (Bordin et al., 2008).

Sob SPD houve diminuição dos teores de CO em profundidade (Figura 1). Esse padrão de decréscimo de CO também foi verificado em diversos trabalhos em solos do Cerrado (Ferreira et al., 2007; Nunes et al., 2011b; Carmo et al., 2012). Segundo Jerke et al. (2012), o decréscimo de CO em profundidade é menor na ausência de adubação fosfatada. Essa estratificação ocorre devido à deposição de resíduos vegetais na superfície, sem a incorporação em camadas mais profundas do solo.

No SPD os maiores teores de CO foram encontrados na profundidade de 0-5 cm, valores de CO superiores na profundidade de 0-5 cm em SPD também foram encontrados por Guareschi et al. (2012) e por Pragana et al. (2012). Nas demais camadas o SPC apresentou maiores teores de CO.

4.2 Carbono da biomassa microbiana

Os teores de Cmic variaram de 171 a 398 mg kg⁻¹ (Tabela 5). Esses teores estão dentro de uma faixa de valores normalmente encontrados em solos do Cerrado sob sistemas de manejo (Matsuoka et al., 2003; Ferreira et al., 2007; Nunes et al., 2011b; Pragana et al., 2012).

Tabela 5 - Carbono da biomassa microbiana, em mg kg⁻¹, em Latossolo sob plantio convencional e direto com diferentes fontes e modos de aplicação de fósforo por 17 anos e sem adubação fosfatada no 18^o ano.

Sistema de manejo ⁽¹⁾	Fonte de P ⁽²⁾	Modo de aplicação ⁽³⁾	Profundidade					
			----- cm -----					
			0-5		5-10		10-20	
SPC	SFT	L	274	CDa	235	CDab	178	Cb
SPC	SFT	S	233	DEa	213	Da	265	ABa
SPC	FNR	L	171	Eb	257	BCa	230	BCab
SPC	FNR	S	218	DEa	268	BCa	240	BCa
SPD	SFT	L	398	Aa	326	Ab	337	Aab
SPD	SFT	S	351	ABa	347	Aa	236	BCb
SPD	FNR	L	322	BCa	277	Ba	206	BCb
SPD	FNR	S	367	ABa	265	BCb	257	ABb

⁽¹⁾SPC- sistema de cultivo convencional; SPD- sistema de plantio direto. ⁽²⁾ SFT- super fosfato triplo; FNR- fosfato reativo natural. ⁽³⁾ L- lanço; S- sulco. Valores seguidos de letras iguais, maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas, não diferem pelo teste de Tukey-Kremer, a 5% de probabilidade.

Sob plantio direto os teores de Cmic na camada de 0-5 cm foram superiores ao sistema convencional, independente da fonte e da forma de aplicação de P. Resultados semelhantes foram encontrados por Ferreira et al. (2007) e Lisboa et al. (2012). Na camada de 5-10 cm com a aplicação de SFT o SPD apresentou os maiores teores de Cmic, inclusive superiores ao SPD com a aplicação de FNR. Ainda nesse sistema, na camada de 10-20 cm, o SFT possibilitou maiores teores de Cmic quando aplicado a lanço, comparado à sua aplicação no sulco. O SFT por ser uma fonte de alta solubilidade disponibiliza prontamente P para as plantas proporcionando um maior crescimento da parte aérea da planta como do sistema radicular, isso pode explicar os maiores teores de Cmic na camada de 5-10 cm quando aplicado SFT, uma maior quantidade de raízes nessa profundidade proporciona um ambiente ideal para os microrganismos.

Nunes et al. (2011b), estudando Cmic e outros atributos em Latossolo sob SPD e SPC, com diferentes doses de P₂O₅, encontram diferenças apenas entre os sistemas de cultivo.

Observou-se que dentro de cada sistema, quando aplicadas as fontes FNR e SFT não houve diferença no modo de aplicação, lança e sulco, na camada de 0-5 e 5-10 cm. No entanto na profundidade de 10-20 cm houve diferença em ambos os sistemas na forma de aplicação para a fonte SFT, onde os teores de lança são maiores que os teores em sulco sob SPD e os teores no sulco são maiores sob SPC.

Na camada de 0-5 cm houve diferença entre as fontes quando aplicadas a lança, enquanto que na de 5-10 cm ocorreu diferença entre as fontes quando aplicadas no sulco. Na camada de 10-20 cm ocorre diferença entre as fontes quando aplicadas a lança em SPD. A diferença entre as fontes dependeu da camada e do modo como foi aplicado o P.

Em sistemas de plantio direto observaram-se teores de Cmic semelhantes nas camadas de 0-5 e 5-10 cm diminuindo na camada de 10-20 cm, quando usadas às fontes SFT no sulco e FNR a lança. Já para a fonte SFT aplicação a lança e FNR aplicação no sulco encontraram-se teores de Cmic diferentes entre as camadas de 0-5 e 5-10 cm, para a fonte SFT aplicação a lança na camada de 10-20 cm o teor de Cmic se assemelha ao da camada de 0-5 cm e para FNR aplicação no sulco o teor se assemelha a profundidade de 5-10 cm.

No sistema de preparo convencional tanto para SFT quanto FNR aplicado no sulco observaram-se teores de Cmic semelhantes para todas as camadas. Quando da aplicação de SFT a lança, as camadas de 0-5 e 10-20 cm apresentam teores diferentes, já a 5-10 apresentou teores que se assemelham a 0-5 e 10-20 cm. Da aplicação de FNR a lança as camadas de 0-5 e 5-10 cm apresentaram teores diferentes, e a camada de 10-20 cm teores semelhantes às duas camadas anteriores.

Sistemas que contribuem para o aumento da MOS são os que proporcionam a manutenção da biomassa microbiana, já que está diretamente relacionada com os teores de CO no solo (Lisboa et al., 2012).

O CBM tem sido apontado por diversos autores (Matsuoka et al., 2003; Xavier et al., 2006; Pragana et al., 2012) como um indicador de qualidade, com sensibilidade para detectar modificações no solo.

4.3 β -glucosidase

A atividade da β -glucosidase variou de 52,17 a 364,41 $\mu\text{g } p\text{-nitrofenol h}^{-1}\text{g}^{-1}$ solo (Tabela 6). Esses valores de atividades estão dentre de uma faixa de valores normalmente encontrados em solos do Cerrado (Souza et al., 2009; Lisboa et al., 2012).

Na análise de variância (Tabela 3) a β -glucosidase foi o atributo que apresentou maior número de interações significativas, demonstrando sua alta sensibilidade às alterações ocorridas no solo.

Tabela 6 - β -glucosidase, em $\mu\text{g } p\text{-nitrofenol h}^{-1}\text{g}^{-1}$ solo, em Latossolo sob plantio convencional e direto com diferentes fontes e modos de aplicação de fósforo por 17 anos e sem adubação fosfatada no 18^o ano.

Sistema de manejo ⁽¹⁾	Fonte de P ⁽²⁾	Modo de aplicação ⁽³⁾	Profundidade		
			----- cm -----		
			0-5	5-10	10-20
SPC	SFT	L	118,03	100,05	90,34
SPC	SFT	S	143,07	122,55	114,16
SPC	FNR	L	109,46	101,22	84,85
SPC	FNR	S	124,78	116,92	79,29
SPD	SFT	L	352,50	126,17	65,08
SPD	SFT	S	323,79	128,80	52,17
SPD	FNR	L	364,41	137,99	56,30
SPD	FNR	S	355,40	141,68	58,15

⁽¹⁾SPC- sistema de cultivo convencional; SPD- sistema de plantio direto. ⁽²⁾ SFT- super fosfato triplo; FNR- fosfato reativo natural. ⁽³⁾ L- lanço; S- sulco.

Como não foi significativa a interação quádrupla e nem as interações triplas, para o atributo β -glucosidase, optou-se por trabalhar com a interação sistema e profundidade.

Foi observado (Figura 2) em SPD maior atividade enzimática nas camadas superficiais (0-5 cm e 5-10 cm) enquanto que o SPC foi superior na camada mais profunda (10-20 cm) . Nos sistemas de plantio direto, na camadas de 0-5 cm, os valores da atividade da β -glucosidase foram cerca de 65% superiores aos encontrados no sistema de preparo convencional. Maiores valores de atividade da β -glucosidase também foram encontradas em áreas sob plantio direto de outros estudos (Mendes &

Reis Junior, 2004; Lisboa et al., 2012; Evangelista et al., 2012). Esses resultados demonstram a maior capacidade de sistemas conservacionistas em aumentar o conteúdo de CO no solo, principal substrato para que haja a liberação de enzimas pelos microrganismos.

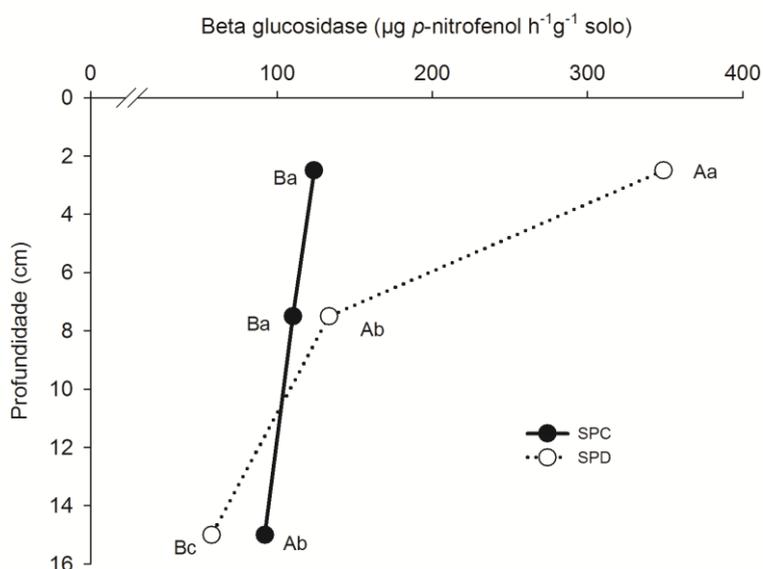


Figura 2 - Atividade da enzima β -glucosidase em profundidade de Latossolo sob sistemas de manejo. SPC- sistema de cultivo convencional; SPD- sistema de plantio direto. Letras maiúsculas comparam sistemas dentro de cada profundidade e letras minúsculas comparam profundidades dentro de cada sistema. Letras iguais indicam ausência de diferença pelo teste de Tukey-Kramer, a 5% de probabilidade.

Observou-se que após 17 anos de cultivo, a atividade da β -glucosidase foi alterada em função do sistema de manejo adotado, pois este influencia diretamente a quantidade e distribuição do carbono orgânico do solo (Figura 1), substrato para a enzima, bem como a sobrevivência de microrganismos sintetizadores da β -glucosidase (Figura 2).

No sistema sob plantio direto observou-se um decréscimo acentuado da atividade da β -glucosidase em profundidade (Figura 2), onde a atividade da enzima se concentra nos cinco centímetros iniciais. Mendes & Reis Junior (2004) observaram resultados semelhantes. Essa diminuição da atividade enzimática pode ser atribuída à escassez de

substratos carbonados para as populações microbianas do solo nas camadas inferiores. Souza et al. (2009) observaram diminuição da atividade da β -glucosidase na camada de 5-20 cm em relação à camada de 0-5 cm. Já no SPC o decréscimo é mais suave, de modo que nas camadas de 0-5 e 5-10 cm verificaram-se valores de atividades semelhantes, reduzindo na camada de 10-20 cm. Devido ao revolvimento do solo a MOS é distribuída entre as camadas, proporcionando substrato para população microbiana e para a atividade enzimática de forma mais homogênea.

A β -glucosidase é a enzima responsável pela degradação da celulose, sendo assim uma das enzimas responsáveis pela decomposição da matéria orgânica (Turner et al., 2002). A atividade dessa enzima está ligada diretamente com a qualidade e com a deposição de material vegetal na superfície do solo, ou seja, quanto maior presença e qualidade de resíduos vegetais na superfície do solo maior será atividade da β -glucosidase. Assim, sistemas de plantio direto ou sistemas que acumulem resíduos vegetais no solo proporcionam maior atividade da β -glucosidase. A atividade dessa enzima está relacionada com a ciclagem de C no solo (Lisboa et al., 2012).

4.4 Quociente microbiano

Os valores de q_{Mic} variaram de 0,86 a 2,13% (Tabela 7). Valores próximos também foram verificados por diversos autores em solos tropicais como os que predominam no Cerrado (Ferreira et al., 2007; Rangel et al., 2007; Nunes et al., 2011b; Carneiro et al., 2012; Pragana et al., 2012).

O q_{Mic} é usado para relacionar a biomassa microbiana à disponibilidade de CO no solo (Ferreira et al., 2007). Os valores de q_{Mic} variam de acordo com o tipo de solo, pH, sistema de cultura, clima, preparo do solo, quantidade e qualidade do aporte de resíduos do solo. Por esse motivo o q_{Mic} não pode ser analisado isoladamente como um indicador de qualidade do solo e da recuperação da MOS (Rangel et al., 2007).

Tabela 7 – Quociente microbiano, em %, sob plantio convencional e direto com diferentes fontes e modos de aplicação de fósforo por 17 anos e sem adubação fosfatada no 18º ano.

Sistema de manejo ⁽¹⁾	Fonte de P ⁽²⁾	Modo de aplicação ⁽³⁾	Profundidade					
			----- cm -----					
			0-5		5-10		10-20	
SPC	SFT	L	1,38	ABa	1,21	CDa	0,99	Da
SPC	SFT	S	1,14	BCab	1,01	Db	1,43	BCDa
SPC	FNR	L	0,86	Db	1,29	BCa	1,21	CDab
SPC	FNR	S	1,05	Cb	1,39	BCa	1,39	BCa
SPD	SFT	L	1,53	Ab	1,76	Aab	2,13	Aa
SPD	SFT	S	1,42	Ab	1,89	Aa	1,57	BCab
SPD	FNR	L	1,31	ABCa	1,52	Ba	1,36	BCDa
SPD	FNR	S	1,46	Aa	1,45	Ba	1,78	Aba

⁽¹⁾SPC- sistema de cultivo convencional; SPD- sistema de plantio direto. ⁽²⁾ SFT- super fosfato triplo; FNR- fosfato reativo natural. ⁽³⁾ L- lanço; S- sulco. Valores seguidos de letras iguais, maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas, não diferem pelo teste de Tukey-Kremer, a 5% de probabilidade.

Na camada de 0-5 cm, quando aplicado SFT a lanço não houve diferença entre os sistemas, entretanto, diferença foi verificada quando da aplicação no sulco. Ainda nessa camada quando aplicado FNR a lanço e sulco sob SPD os valores foram superiores ao SPC. Na camada de 5-10 cm quando aplicado SFT a lanço e sulco houve diferença entre os sistemas, já a aplicação de FNR tanto a lanço quanto no sulco não houve diferença entre os sistemas. Com exceção do SFT aplicado a lanço, na camada de 10-20 cm não houve diferença entre os sistemas para a mesma fonte de P e modo de aplicação.

De maneira geral o SPD apresentou maiores valores dessa relação que o SPC. Maiores valores de q_{Mic} indicam maior conversão de CO em Cmic. Diferença nessa relação em função do sistema de manejo reflete o padrão de entrada de MOS. Normalmente sistemas de plantio direto bem conduzidos mantêm o quociente microbiano em valores semelhantes aos do solo em condições naturais (Nunes et al., 2011b).

Observou-se ainda que, sob o mesmo sistema, quando aplicada a mesma fonte de P não houve diferença no modo de aplicação, lanço e sulco, exceto sob SPC fonte FNR

nas camadas de 0-5 e 10-20 cm e sob SPD fonte SFT na camada 10-20 cm. Assim o modo de aplicação P não influenciou, de forma geral o q_{Mic} .

Sob SPC na camada de 0-5 cm para lanço ou sulco houve diferença entre fontes de P. Sob SPD não houve diferença entre FNR e SFT para o mesmo modo de aplicação. Na camada de 5-10 cm para lanço ou sulco houve diferença entre fontes sob o mesmo sistema. Já na camada de 10-20 cm para a mesma forma de aplicação não houve diferença entre FNR e SFT sob mesmo sistema, exceto sob SPD aplicação a lanço. Assim infere-se que a fonte de fósforo não influenciou a conversão de CO em C_{mic} .

Sob SPC quando da aplicação de SFT a lanço e sob SPD quando da aplicação de FNR em sulco e lanço não houve diferença entre as camadas. Ainda sob SPC quando aplicado SFT em sulco as camadas 5-10 e 10-20 cm apresentaram valores diferentes e 0-5 cm verificou-se valor igual às demais camadas. Sob SPC quando aplicado FNR a lanço e sob SPD quando aplicado SFT sulco, as camadas de 0-5 e de 5-10 cm apresentaram valores semelhantes e na camada de 10-20 cm o valores encontrados se assemelharam às camadas anteriores. Sob SPC tendo como fonte de P FNR aplicada em sulco a camada de 0-5 cm apresenta valor inferior às camadas de 5-10 e 10-20 cm. Já sob SPD quando aplicado SFT a lanço as camadas de 0-5 e 10-20 cm apresentam valores diferentes e na camada de 5-10 cm o valor observado se assemelha as demais camadas.

4.5 Correlações entre carbono orgânico e atividade da β -glucosidase

Os resultados apresentaram boa correlação entre a enzima β -glucosidase e o CO com um R^2 de 0,80 ($P < 0,01$) (Figura 3). Turner et al.(2002) também encontraram forte correlação entre esses dois atributos com um R^2 de 0,77, assim como Böhme et al.(2005), que encontraram um R^2 igual a 0,98. Quando separados os sistemas, verificou-se que a correlação maior ocorreu sob SPD com R^2 de 0,96 (Figura 4) já sob plantio convencional o R^2 foi de 0,48 (Figura 5). Esses resultados confirmam que o plantio direto pelo aumento dos teores de matéria orgânica favorece a atividade enzimática, em decorrência do ambiente mais favorável ao crescimento microbiano.

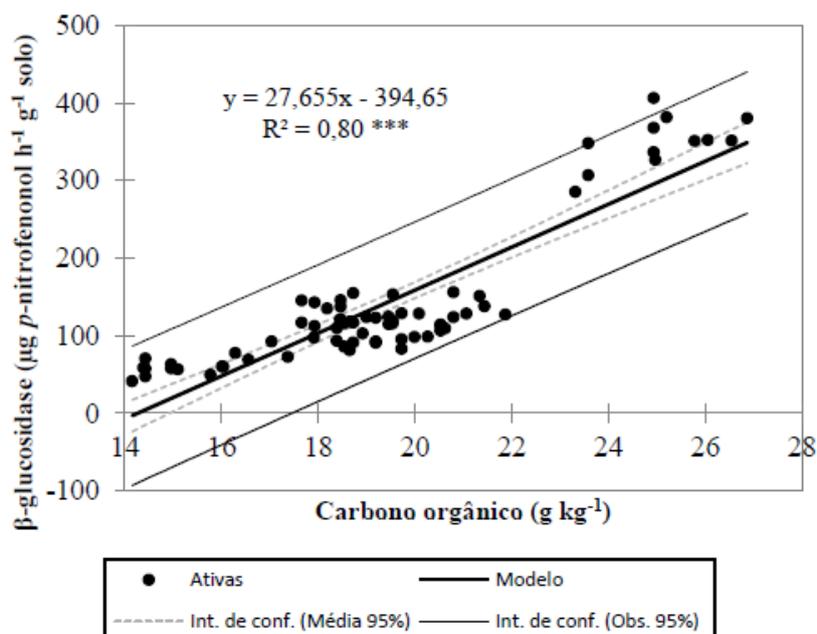


Figura 3 - Relação entre carbono orgânico e atividade da enzima β -glucosidase em Latossolo sob sistema de manejo, fontes e modos de aplicação de fósforo, considerando todas as amostras. *** ($P < 0,01$).

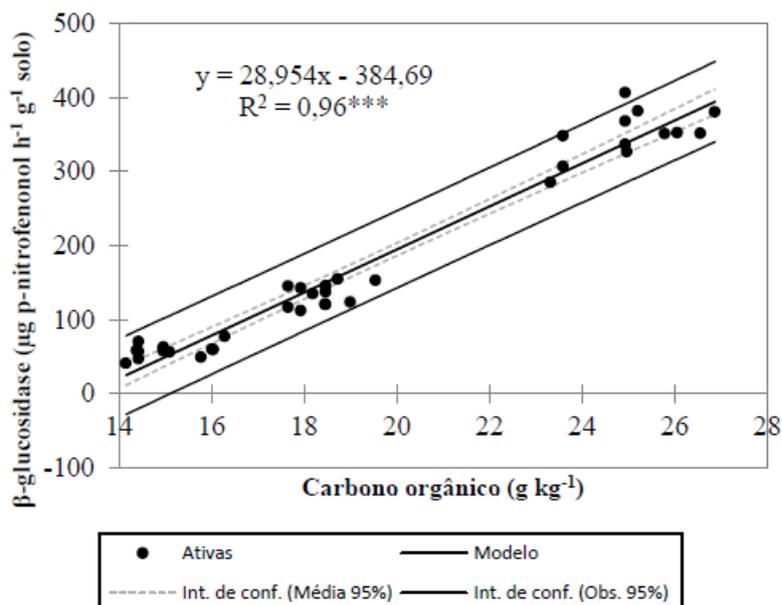


Figura 4 - Relação entre carbono orgânico e atividade da enzima β -glucosidase em Latossolo sob plantio direto com o uso de fontes e modos de aplicação de fósforo. *** ($P < 0,01$).

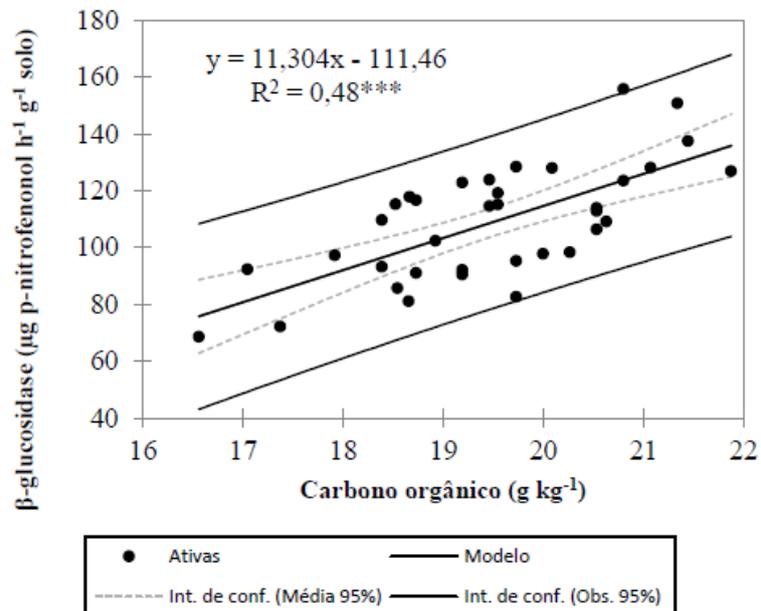


Figura 5 - Relação entre carbono orgânico e atividade da enzima β -glucosidase em Latossolo sob sistema de cultivo convencional com o uso de fontes e modos de aplicação de fósforo. *** ($P < 0,01$).

5 CONCLUSÕES

- 1) De maneira geral, pouca influência das fontes e dos modos de aplicação de P nos atributos microbiológicos e no CO é verificada.
- 2) Na camada de 0-5 cm o sistema plantio direto apresenta maiores teores de CO e Cmic e de β -glucosidase do que o sistema de preparo convencional, independente da fonte e do modo de aplicação do P.
- 3) Sob SPD ocorre maior estratificação do CO, Cmic e β -glucosidase em profundidade em relação ao SPC.
- 4) Independente da fonte e do modo de aplicação do adubo fosfatado, no SPD há forte correlação entre a atividade da β -glucosidase e CO.
- 5) Cmic e β -glucosidase apresentaram alta sensibilidade aos efeitos de sistema, fonte e modo de aplicação de fósforo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Práticas conservacionistas e sistema de manejo. São Paulo: ícone, 2008. p. 94-207.

BÖHME, L.; LANGER, U.; BÖHME, F. Microbial biomass, enzyme activities and microbial community structure in two European long-term field experiments. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 109: 141-152, 2005.

BORDIN, I.; NEVES, C.S.V.J.; MEDINA, C.C.; SANTOS, J.C.F.dos; TORRES, E.; URQUIGA, S. Matéria seca, carbono e nitrogênio de raízes de soja e milho em plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 43: 1785-1792, 2008.

CARNEIRO, M.A.C.; ASSIS, P.C.R.; MELO, L.B.C.; PEREIRA, H.S.; PAULINO, H.B.; NETO, A.N.S. Atributos bioquímicos em dois solos de Cerrado sob diferentes sistemas de manejo e uso. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 38: 276-283, 2008.

CARMO, F.F.do; FIGUEIREDO, C.C.de; RAMOS, M.L.G.; VILVADI, L.J.; ARAÚJO, L.G. Frações granulométricas da matéria orgânica em Latossolo sob plantio direto com gramíneas. **Bioscience Journal**, 28: 420-431, 2012.

CRUZ, J.C.; ALVARENGA, R.C.; NOVOTNY, E.H.; PEREIRA Filho, I.A.; SANTANA, D.P.; PEREIRA, F.T.F.; HERNANI, L.C. Embrapa milho e sorgo: cultivo do milho. 2 ed Dezembro 2006. Disponível em: http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho_2ed/index.htm. Acesso: 14 de jan. 2013.

EVAGELISTA, C.R.; PARTELLI, F.L.; FERREIRA, E.P.B.; CORRECHEL, V. Atividade enzimática do solo sob produção orgânica e convencional na cultura da cana-de-açúcar em Goiás. **Semina: Ciências Agrárias**, 33:1251-1262, 2012.

FERREIRA, E.A.B.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C.; RAMOS, M.L.G. Dinâmica do carbono da biomassa microbiana em cinco épocas do ano em diferentes sistemas de manejo do solo no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:1625-1635, 2007.

FIGUEIREDO, C.C.de; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C.; FERREIRA, E.A.B.; RAMOS, M.L.G. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em resposta a diferentes sistemas de manejo em um latossolo vermelho no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:551-562, 2007.

FIGUEIREDO, C.C.de; RESCK, D.V.S.; CARNEIRO, M.A.C. Labile and stable fractions of soil organic matter under management systems and native Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:907-916, 2010.

GUARESCHI, R.F.; PEREIRA, M.G.; PERIN, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36: 909-920, 2012.

IBGE. **Mapa de Biomas do Brasil**: primeira aproximação: escala 1:5.000.000. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/mapas_murais/biomas.pdf> Acesso: 28 jan. 2013.

IBGE. **Estudos e pesquisas**. Indicadores de desenvolvimento sustentável Brasil 2012. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/recursos_naturais/indicadores_desenvolvimento_sustentavel/2012/ids2012.pdf>. Acesso: 5 de mar. 2013.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biology and Fertility of Soils**, 27:408-416, 1998.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil: a method for measuring soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, 8:209-213, 1976.

JERKE, C.; SOUSA, D.M.G.de.; GOEDERT, W.J. Distribuição do carbono orgânico em Latossolo sob manejo de adubação fosfatada em plantio direto no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 47:442-448, 2012.

KLINK, C.A.; MACHADO, R.B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, 1:147-155, 2005.

LAL, R. **Savannas and global climate change source or sink of atmospheric CO₂**. In: FALEIRO, F. G.; FARIAS NETO, A. L. (Eds.). Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. p. 81-102.

LISBOA, B.B.; VARGAS, L.K.; SILVEIRA, O.S.; MARTINS, A.F.; SELBACH, P.A. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36:45-55, 2012.

LOPES, A.S.; DAHER, E. **Agronegócio e recursos naturais no Cerrado: desafio para uma coexistência harmônica**. In: FALEIRO, F.G.; FARIAS Neto, A.L. de. (Eds.). Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. p. 173-209.

MATSUOKA, M.; MENDES, I.C.; LOUREIRO, M.F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de primavera do leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:425-433, 2003.

MENDES, I.C; REIS Junior, F.B dos. **Uso de parâmetros microbiológicos como indicadores para avaliar a qualidade do solo e a sustentabilidade dos agroecossistemas.** Embrapa Cerrados, 112, 2004.

MENDONÇA, E.S; MATOS, E.S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises.** Viçosa: UFV, 2005. p. 107.

NUNES, R.S.; SOUSA, D.M.G. de; GOEDERT, W.J.; VIVALDI, L.J. 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, 2011a.

NUNES, R.S.; LOPES, A.A.C.; SOUSA, D.M.G. de; MENDES, I.C. Sistemas de manejo e os estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo do Cerrado com sucessão soja-milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35:1440-1419, 2011b.

NOVAIS, R.B.; SMYTH, T.J.; NUNES, F.N. **Fósforo.** In: NOVAIS, R.B.; ALVAREZ V.V.H.V.; BARROS, N.F.de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds.). Fertilidade dos solos. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 471-551.

PRAGANA, R.B.; NÓBREGA, R.S.A.; RIBEIRO, M.S.; LUSTOSA Filho, J.F. Atributos biológicos e dinâmica da matéria orgânica em Latossolos amarelos na região do Cerrado piauiense sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36:851-858, 2012.

RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:1609-1623, 2007.

SÁ, M.A.C.de; SANTOS júnior, J.D.G.dos; FRANZ, C.A.B. **Manejo e conservação do solo e da água em sistema de plantio direto no Cerrado.** Embrapa Cerrados, 258, 2009.

SILVA, E.M. da; AZEVEDO, J.A. de.; LIMA, J.E.F.W. **Utilização dos recursos hídricos na agricultura irrigada do Cerrado.** In: ALBUQUERQUE, A.C.S.; SILVA, A.G. da. (Eds.). Agricultura Tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas. Brasília: Embrapa, 2008. p. 65-92.

SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. (Eds.). **Cerrado: correção do solo e adubação.** Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. 416p.

SOUSA, D.M.G.de; LOBATO, E.; REIN, T.A. **Adubação com fósforo.** In: SOUSA, D.M.G.de; LOBATO, E. (Eds.). Cerrado: correção do solo e adubação. Planaltina: Embrapa, 2004.p.147-168.

SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E.; GOEDERT, W.J. **Manejo da fertilidade do solo do Cerrado.** In: ALBUQUERQUE, A.C.S.; SILVA, A.G. da. (Eds.). Agricultura Tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas. Brasília: Embrapa, 2008. p. 203-260.

SOUSA, D.M.G.de; REIN, T.A.; LOBATO, E. **Solubilidade e eficiência agronômica de fosfatos naturais reativos avaliados com a cultura da soja em um latossolo de Cerrado.** In: Faleiro, F.G.; Farias Neto, A.L. (Ed.) Menções honrosas. Planaltina, DF; Embrapa Cerrados; Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. p. 232-237.

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.

SOUZA, C.A. de; REIS júnior, F.B.; MENDES, I.C.; LEMAINSKI, J.; SILVA. J.E.da. Lodo de esgoto em atributos biológicos do solo e na nodulação e produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 44:1319-1327, 2009.

TABATABAI, M.A. **Soil enzymes**. In: WEAVER, R.W.; SCOTT, A.; BOTTOMELEY, P.J. (Eds.) *Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties*. Madison; Soil Science Society of America, 1994. p. 778-835.

TURNER, B.J.; HOPKINS, D.W.; HAYGARTH, P.M.; OSTLE, N. β -glucosidase activity in pasture soils. **Applied Soil Ecology**, 20:157-162, 2002.

WALKLEY, A.; BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, 37:29-38, 1934.

XAVIER, F.A.S.; MAIA, S.M.F.; OLIVEIRA, T.S.; MENDOCA, E.S. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânicos e convencional na chapada da Ibiapaba- CE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:247-258, 2006.