



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

**DISTRIBUIÇÃO DO CARBONO ORGÂNICO EM SOLO
SOB PLANTIO DIRETO, EM FUNÇÃO DE FONTES E
MODOS DE APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES
FOSFATADOS**

Caroline Jerke

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

BRASÍLIA/DF
JANEIRO/2011

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

**DISTRIBUIÇÃO DO CARBONO ORGÂNICO EM SOLO
SOB PLANTIO DIRETO, EM FUNÇÃO DE FONTES E
MODOS DE APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES
FOSFATADOS**

Caroline Jerke

ORIENTADOR: Wenceslau J. Goedert

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

PUBLICAÇÃO: 21/2011

**BRASÍLIA/DF
JANEIRO/2011**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

**DISTRIBUIÇÃO DO CARBONO ORGÂNICO EM SOLO
SOB PLANTIO DIRETO, EM FUNÇÃO DE FONTES E
MODOS DE APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES
FOSFATADOS**

Caroline Jerke

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDO À FACULDADE DE AGRONOMIA
E MEDICINA VETERINÁRIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
AGRONOMIA.**

APROVADO POR:

Wenceslau J. Goedert, Doutor (Universidade de Brasília)
(ORIENTADOR) CPF: 005799550-87 E-mail: goedert@unb.br

Sebastião Alberto de Oliveira, Doutor (Universidade de Brasília)
(EXAMINADOR) CPF: 052361771-20 E-mail: oliveira@unb.br

João de Deus Gomes dos Santos Júnior, Doutor (Embrapa Cerrados)
(EXAMINADOR) CPF: 600450861-68 E-mail: jdsantos@cpac.embrapa.br

BRASÍLIA/DF, 19 de JANEIRO de 2011.

FICHA CATALOGRÁFICA

Jerke, Caroline

Distribuição do carbono orgânico em solo sob plantio direto, em função de fontes e modos de aplicação de fertilizantes fosfatados/ Caroline Jerke; orientação de Wenceslau J. Goedert; Brasília, 2011.

70 p. il.

Dissertação de Mestrado (M) – Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2011.

1. Matéria orgânica 2. Cerrado 3. Latossolo 4. Qualidade do solo.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

JERKE. C. **Distribuição do carbono orgânico em solo sob plantio direto, em função de fontes e modos de aplicação de fertilizantes fosfatados.** Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2011, 70 p. Dissertação de Mestrado.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Caroline Jerke

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Distribuição do carbono orgânico em solo sob plantio direto, em função de fontes e modos de aplicação de fertilizantes fosfatados.

GRAU: Mestre

ANO: 2011

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado 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 dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Caroline Jerke

CPF: 003.080.321-79

SMPW Quadra 26 conjunto 7 lotes 11 e 12 casa O, Park Way

CEP 71745-607 – Brasília/DF

(61) 3386-3062/9808-9546 e carol@agronoma.eng.br

**Dedico aos meus mestres,
meus amados e meus meninos.**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por minha vida, saúde e presença em todos os momentos, à minha querida e amada família pelo apoio e por entender meus momentos de ausência pela importância de cumprir mais uma etapa em minha vida, em especial à minha mãe, ao meu pai, meus lindos irmãos e ao meu bem.

Aos meus orientadores, professor Wenceslau Goedert, pela oportunidade de conhecer este grande mestre e pelos importantíssimos, momentos de ensinamento; e ao querido mestre Djalma Martinhão pelo apoio logístico, pelos ensinamentos, não apenas restritos à área acadêmica, pelos caminhos ensinados e pelo exemplo de vida.

Aos professores Lúcio Vivaldi pela presteza, atenção e auxílio na elaboração deste trabalho; Carlos Oliveira pelo carinho e apoio, à professora Marilusa pela atenção e exemplo de dedicação e ao querido prof. Sebastião Oliveira por ser um “baita” professor.

À EMBRAPA Cerrados pelo apoio logístico e por ceder estrutura de campo, laboratórios e seu pessoal de apoio, em especial ao Almir, Euzino e Ana, e a todo pessoal do laboratório; também ao pessoal de campo que se dedicam a este trabalho de forma contínua e que são exemplo de seriedade e responsabilidade.

Aos colegas de mestrado, em especial à Luana, Wendel e Leandro pela amizade construída. Aos meus veteranos de orientação: Daiane e Rafael pelos caminhos abertos por eles, que sem dúvida, foram importantes para que eu pudesse seguir um caminho semelhante.

Aos meus colegas e amigos de trabalho pelas palavras de conforto durante a jornada deste curso e aos meus alunos que estimulam diariamente minha vontade de aprender sempre mais e que, carinhosamente, trato como “meus meninos”.

A todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente com a elaboração deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1 Qualidade do solo	2
2.2 Importância do carbono orgânico no solo	6
2.2.1 Importância para atributos químicos.....	6
2.2.2 Importância para os atributos físicos	10
2.2.3 Importância para os atributos biológicos	11
2.3 Fatores que afetam o acúmulo de carbono orgânico no solo	13
2.3.1 Sistemas de manejo do solo	18
2.4 Fósforo no solo	19
2.5 Distribuição do carbono orgânico e fósforo no solo	23
3. OBJETIVOS E HIPÓTESES.....	25
3.1. Objetivo Geral	25
3.2. Objetivos específicos	25
3.3. Hipóteses do trabalho	26
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27
CAPÍTULO ÚNICO.....	36
1. INTRODUÇÃO.....	39
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	41
2.1 Área de estudo.....	41
2.2 Amostragem do solo	43
2.3 Procedimentos analíticos	45
2.3.1 Determinação do carbono orgânico.....	45
2.3.2 Determinação do fósforo inorgânico.....	45
2.3.3 Análise estatística.....	46
2.3.4 Interpolação dos dados	47
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
3.1 Efeitos simples.....	49
3.1.1 Efeito dos tratamentos.....	49
3.1.2 Efeito da distribuição vertical	52
3.1.3 Efeito da distribuição horizontal.....	55
3.2 Interações duplas.....	56

3.2.1 Distribuição vertical Vs. horizontal.....	56
3.2.2 Tratamento Vs. distribuição vertical.....	57
3.2.3 Tratamento Vs. distribuição horizontal	60
3.3 Relação entre o fósforo inorgânico e carbono orgânico no solo	62
4. CONCLUSÕES	66
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela	Página
Tabela 1. Análise química e granulométrica do solo antes da instalação do experimento, na camada de 0 a 20 cm.	42
Tabela 2. Histórico de uso da área e momento da amostragem.	42
Tabela 3. Análise de variância para o carbono orgânico do solo, relacionando os cinco tratamentos, cinco profundidades, sete distâncias em relação à linha de plantio e suas possíveis interações.	48
Tabela 4. Teores de carbono orgânico do solo, independente da distribuição vertical e horizontal avaliada até 30 cm de profundidade, nos diferentes tratamentos.	50
Tabela 5. Rendimento total acumulado de grãos ao longo de oito cultivos (5 cultivos de soja e 3 cultivos de milho) por tratamento.	51
Tabela 6. Teores médios de carbono orgânico do solo, independente do tratamento e distribuição horizontal avaliada até 30 cm de profundidade, das diferentes camadas de solo.	53
Tabela 7. Teores médios de carbono orgânico no solo (g kg^{-1}), independente do tratamento e distribuição vertical avaliada até 30 cm de profundidade, distribuídas perpendicularmente em relação à linha de plantio (distribuição horizontal).	55
Tabela 8. Teores médios de carbono orgânico do solo em relação à distribuição vertical (camadas em profundidade) e horizontal (perpendicularmente à linha de plantio) independente dos tratamentos avaliados.	57
Tabela 9. Teores médios de carbono orgânico do solo independente da distribuição horizontal, avaliada até 30 cm de profundidade, no sentido vertical (profundidade) para cada tratamento e suas interações.	58
Tabela 10. Teores médios de carbono orgânico (g kg^{-1}) do solo independente da distribuição vertical (profundidade), avaliada perpendicularmente à linha de plantio até 37,5 cm em direção à entrelinha para cada tratamento.	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 1. Potencial de retenção do fósforo no solo	20
Figura 2. Desenho experimental, destacando a localização das parcelas para os tratamentos selecionados neste trabalho. (1) testemunha; (2) superfosfato triplo aplicado a lanço; (3) superfosfato triplo aplicado no sulco de semeadura; (4) fosfato natural reativo aplicado a lanço; (5) fosfato natural reativo aplicado no sulco de semeadura.....	43
Figura 3. Esquema de amostragem.	44
Figura 4. Foto da amostragem de solo.....	44
Figura 5. Teores de carbono orgânico (g kg^{-1}) por camada, em tratamentos com ou sem adubo fosfatado, independente de sua distribuição horizontal, modo ou fonte de adubos fosfatados.....	58
Figura 6. Distribuição vertical do carbono orgânico avaliado até 30 cm de profundidade, para as diferentes fontes de adubos fosfatados e a testemunha, independente da variabilidade horizontal.	59
Figura 7. Distribuição horizontal e vertical do carbono orgânico do solo e do fósforo inorgânico obtidas por krigagem, após oito anos em sistema plantio direto, cultivado com soja e milho em Latossolo do Cerrado.....	63
Figura 8. Relação entre o teor de carbono orgânico e fósforo inorgânico do solo para todas as amostras coletadas na área experimental (dados médios de três repetições – 175 pares, valores de carbono orgânico variaram de $10,87 \text{ g kg}^{-1}$ a $22,25 \text{ g kg}^{-1}$ e fósforo inorgânico de 21 ppm a 1.130 ppm).....	65

ÍNDICE DE SIGLAS E ABREVIATURAS

Al	Alumínio
B	Boro
C	Carbono
Ca	Cálcio
CH ₄	Metano
Cl	Cloro
CO	Carbono orgânico
COT	Carbono orgânico total
Cu	Cobre
Fe	Ferro
Gt	Gigatons
H	Hidrogênio
ha	hectare
K	Potássio
kg	Quilo
L	Litro
mg	Miligrama
Mn	Manganês
Mo	Molibdênio
N	Nitrogênio
Ni	Níquel
O	Oxigênio
P	Fósforo
ppm	Partes por milhão
S	Enxofre
SCC	Sistema de cultivo convencional
SPD	Sistema plantio direto
t	Tonelada
Zn	Zinco

DISTRIBUIÇÃO DO CARBONO ORGÂNICO EM SOLO SOB PLANTIO DIRETO, EM FUNÇÃO DE FONTES E MODOS DE APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES FOSFATADOS

RESUMO GERAL

Um dos atributos mais utilizados para a verificação da qualidade é o carbono orgânico do solo, pois é facilmente mensurável, permite monitoramento de mudanças a médio e longo prazo e relaciona-se com propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Objetiva-se com este trabalho, verificar a distribuição horizontal e vertical do carbono orgânico no solo sob dois modos (a lanço em superfície e no sulco de semeadura), duas fontes de fertilizante fosfatado (superfosfato triplo e fosfato natural reativo) e sem a adição de fósforo e verificar a relação do carbono orgânico com o fósforo inorgânico no solo. A área foi estabelecida sob plantio direto por oito anos, cultivando-se milho e soja, a mucuna foi utilizada na abertura da área e o milheto como planta de cobertura de inverno durante sete anos. A verificação da distribuição do carbono orgânico do solo foi utilizada amostragem com sete colunas distanciadas 12,5 cm umas das outras, dispostas perpendicularmente à linha de plantio, sendo a coluna central localizada na linha de plantio de milho (última cultura antes da amostragem) até 37,5 cm em direção à entrelinha (à direita e à esquerda), cada coluna com cinco camadas de profundidade (0 - 2,5; 2,5-5; 5-10; 10-20; 20-30 cm). Observou-se grande significância da distribuição vertical do carbono orgânico e diferença na distribuição vertical de cada tratamento, principalmente comparando tratamentos com e sem adubação fosfatada. Há diferença na distribuição horizontal do carbono orgânico, concentrando-se na linha de plantio do milho, até a profundidade de 10 cm, abaixo desta, não há diferença nos teores de carbono orgânico. Os maiores teores de carbono orgânico no solo foram observados nas camadas mais superficiais, exceto no tratamento sem adubação fosfatada, cujos teores não são estatisticamente diferentes até 10 cm de profundidade. A relação entre o fósforo inorgânico e o carbono orgânico demonstrou-se positiva de modo que o fósforo inorgânico do solo interfere positivamente no acúmulo de carbono orgânico do solo até 170 ppm, a partir deste valor o carbono orgânico estabiliza-se em alcançando o limite de 19,5 g kg⁻¹.

Termos para indexação: matéria orgânica, fósforo, Cerrado, qualidade do solo.

DISTRIBUTION OF ORGANIC CARBON IN SOIL UNDER NO-TILL SYSTEM, WITH DIFFERENT SOURCES AND MANAGEMENT OF PHOSPHORUS FERTILIZERS.

GENERAL ABSTRACT

One of the attributes more utilized for the verification of soil quality is the soil organic carbon, because is easily measurable, permits monitoring of changes on medium and long time and relates with biological, chemical and physical properties of soil. The aim of with this paper is evaluate the vertical and horizontal distribution of soil organic carbon under two forms of application (in sowing furrow or in the surface), under two phosphate fertilizers (triple superphosphate or reactive natural phosphate) and without addition of phosphates fertilizers and verify the relation of the inorganic phosphorus with the soil organic carbon. The area was established under no-tillage system by eight years, cultivating corn and soybean, mucuna was used to open the area and milheto as used like winter cover plant during seven years. The verification of the distribution of soil organic carbon utilized a methodology of sample with seven columns distant 12.5 cm some of the other, perpendicularly to the line of plantation, the central column located in the corn plantation line (last culture before of the sample) to 37.5 cm of distance (right and left), each column with five layers of depth (0 - 2.5; 2,5-5; 5-10; 10-20; 20-30 cm). The results observed showed statistic significance of vertical distribution of soil organic carbon and a difference in the vertical distribution of each treatment, mainly comparing treatments with phosphate fertilizer and without application of phosphates. The difference of horizontal distribution of soil organic carbon, concentrating in the line of plantation of the corn, in 10 cm up to depth. The biggest contents of soil organic carbon were observed in the most superficial layers, except in the treatment without phosphate fertilizers, whose contents do not be statistic difference to 10 cm of depth. The relation between the inorganic phosphorus and the soil organic carbon showed itself positive and interferences positively in the accumulation of soil organic carbon.

Index-terms: organic matter, phosphorus, Savanna, soil quality.

1. INTRODUÇÃO GERAL

As preocupações ambientais construídas em um contexto de preservação dos recursos naturais têm gerado uma maior conscientização sobre a importância de adotar sistemas conservacionistas em todas as áreas de exploração e uso do solo, da água do ar e de recursos genéticos diversos. O solo, como alicerce da vida na Terra, sustenta e fornece matéria-prima para inúmeras atividades, por isso sua conservação merece atenção especial, buscando sempre o uso sustentável.

Para conhecer as formas de utilização sustentável do solo é importante estar atento à capacidade do solo em suportar a atividade biológica e antrópica sem o seu esgotamento, observando os atributos do solo que permitam esta fiel avaliação.

A avaliação do carbono orgânico (CO) é largamente utilizada como indicador da qualidade do solo, pois é sensível às variações climáticas, à pressão biológica e, principalmente, às atividades de manejo. Além disso, influencia física, química e biologicamente o solo.

Uma das formas de conservação do CO no solo é a adoção de sistemas conservacionistas que possuam a capacidade de manter ou elevar os níveis de matéria orgânica, mantendo os resíduos das culturas antecessoras como forma de conservar todo o material já presente no solo, contribuindo para a diminuição das emissões de carbono na atmosfera e reduzindo os efeitos do aquecimento global.

O sistema conservacionista mais utilizado em áreas agrícolas, desde pequenas até grandes extensões de terras, e que teve grande crescimento nas últimas décadas é o sistema plantio direto, que preconiza, entre outras ações, o não revolvimento do solo, reduzindo o preparo apenas no sulco de semeadura. O crescimento da utilização da forma de cultivo em sistema plantio direto no Cerrado, como alternativa ao sistema de preparo convencional em ambientes agrícolas, é um importante passo para a melhoria dos teores de CO, melhorando a capacidade de produção vegetal e contribuindo para a conservação do solo.

A deposição de material orgânico na camada superficial permite acumular grandes quantidades de resíduos nos primeiros centímetros do solo, formando uma camada mais úmida e coesa que protege o solo contra erosão e emergência de plantas invasoras que competem com a planta cultivada em água, luz e nutrientes.

Esta deposição é importante para a reciclagem de nutrientes essenciais à biomassa vegetal e aos microorganismos do solo.

Ao longo do desenvolvimento de atividades produtivas ocorrem modificações na distribuição do CO do solo sendo, portanto, interessante estudar e acompanhar este atributo, ao longo do tempo, para esclarecer a dinâmica em cada sistema de produção, sobretudo no acompanhamento da distribuição de nutrientes essenciais no solo.

Ao avaliar a distribuição do CO do solo em sistema plantio direto é possível conhecer o modo ele permanece no solo com diferentes manejos de fertilizantes. Esta é uma informação que pode auxiliar na preservação do solo, para melhorar na condução do manejo e conservação do solo, maximizando a eficiência no uso de fertilizantes e reduzindo o desperdício de fontes de energia.

O uso de tecnologias para compreender a distribuição e relação entre o fósforo (P) e carbono (C) pode ser um fator chave para o entender o potencial do sistema. Entender a variabilidade local pode auxiliar no melhor aproveitamento de fertilizantes e minimizar as perdas de carbono para a atmosfera.

Ferramentas como a estatística convencional ou o uso de geoestatística aplicada, podem auxiliar no processo de avaliação desta variabilidade, contribuindo nos processos de decisão quanto ao sistema de manejo mais adequado para manter ou melhorar a qualidade do solo para a produção de alimentos, fibras e energia.

Conhecer a contribuição destas ferramentas nos processos de avaliação de sistemas agrícolas pode ainda auxiliar na compreensão da dinâmica de nutrientes associada a fatores físicos, químicos e biológicos do solo em um sistema produtivo, sempre em busca de preservação e sustentabilidade dos agroecossistemas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Qualidade do solo

A qualidade do solo é considerada por Doran & Parkin (1994) como a capacidade deste em funcionar dentro dos limites do ecossistema para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde de plantas e animais. Segundo Casalinho et al. (2007) consiste na capacidade do solo suportar o crescimento e desenvolvimento de vegetais, suprindo-lhe em nutrientes,

dar suporte a uma adequada atividade biológica proporcionando estabilidade estrutural adequada para resistir à erosão e reter água.

Para Marzall & Almeida (2000) a sustentabilidade é determinada por um conjunto de fatores (econômicos, sociais, ambientais, entre outros) que devem ser considerados. A sustentabilidade do uso do solo deve respeitar seu poder de resiliência, de modo que, ao final da exploração antrópica, volte a exercer os mesmos papéis que exercia antes de sua exploração com a mesma capacidade. Do ponto de vista agrônomo, Goedert & Oliveira (2007) classificaram um solo com alta qualidade, quando esse possibilita o crescimento de plantas de maneira elevada e sustentada.

O conceito de resiliência é a capacidade ou habilidade de retorno de um determinado recurso ao estado original após uma mudança qualquer e, para avaliá-la é necessário compreender e estabelecer limites ideais de uso dos solos, para identificar sua sustentabilidade (Novais & Smyth, 1999).

Escolher indicadores para a avaliação da qualidade do solo é um grande desafio, visto que um bom indicador deve ser obtido de maneira simples e confiável, deve refletir atributos diversos e permitir o monitoramento de mudanças a médio e longo prazo (Araújo et al., 2007).

Para escolher um indicador de qualidade do solo é importante que ele tenha as seguintes características: facilidade de utilização em condições de campo; sensibilidade às variações de manejo e condições climáticas; possibilidade de comparação com bases de dados existentes; permitir uma abordagem sistêmica que possa construir uma modelagem orientada e que suas informações sejam relacionadas às propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Doran & Parkin, 1994).

Os atributos físicos tais como: densidade do solo, porosidade total, resistência mecânica à penetração vertical e taxa de infiltração de água do solo apresentam-se como bons indicadores de qualidade do solo refletindo de forma clara as alterações de manejo (Araújo et al., 2007), em outras situações, podem apresentar menores contribuições para discriminação de manejos diferenciados do solo se comparados a atributos biológicos ou químicos (Carneiro et al., 2009).

Os atributos biológicos costumam ter uma rápida resposta às mudanças no ambiente e ao manejo do solo, também expressam estreita relação com o CO₂ e

seus agentes participam ativamente de processos pedogenéticos importantes para a vida no solo (Chaer, 2001).

Entre alguns atributos muito utilizados para avaliar a qualidade do solo, destaca-se com grande importância o CO, muitas vezes expresso em matéria orgânica, como principal indicador de qualidade do solo (Mielniczuk, 1999; Conceição et al., 2003; Amado, 2009).

A avaliação do CO está entre os atributos químicos mais utilizados para a avaliação da qualidade do solo, muitas vezes acompanhado por medições de capacidade de trocas catiônicas e soma de bases. Embora seja considerado como um atributo químico, este indicador está muito relacionado a fatores físicos e biológicos, por sua íntima relação com estrutura e estabilidade de agregados no solo e por ser fonte de energia para organismos.

Segundo Reeves (1997) o CO é um o indicador chave para qualidade do solo, estando intimamente relacionado a atributos físicos, químicos e biológicos, sendo portanto, um avaliador de sustentabilidade (Gregorich et al., 1994; Doran & Parkin, 1994). Embora este indicador não seja tão sensível às variações de curto prazo como outros, ele é eleito como principal indicador de qualidade por ser rotineiramente utilizado e atender critérios de economia e simplicidade (Conceição et al., 2005).

A qualidade do solo também tem grande influência na sustentabilidade dos sistemas em que se inserem. Além das preocupações com o potencial de crescimento da biomassa e da manutenção da fauna, existe atualmente uma preocupação em reter o CO no solo, evitando as emissões de C na atmosfera. A sociedade e a comunidade científica têm se voltado às possíveis conseqüências do efeito estufa, podendo, pelo acúmulo de alguns gases na atmosfera (CO₂, CH₄, entre outros), contribuir para as alterações climáticas do planeta, principalmente para o aumento da temperatura média global.

Como conseqüências do aquecimento global encontram-se: a redução da biodiversidade, o aumento do nível dos mares, mudanças climáticas irreversíveis, redução da água doce, aumento da freqüência de tempestades e secas, mudanças em sistemas ecológicos e socioeconômico, aumento da biomassa terrestre pela aceleração da taxa fotossintética e o aumento da incidência de doenças (Costa et al., 2008).

Estima-se que a maior parte do C esteja concentrada nos compartimentos abióticos tais como a atmosfera, os oceanos e a litosfera. Entre eles, seu maior reservatório está nas rochas sedimentares com mais de 60 bilhões de toneladas de carbono. A partir destes, mais de 5.000 Gt estão nos combustíveis fósseis, 2.000 Gt nos solos e 500 Gt em forma de biomassa (Roscoe, 2006).

O emprego inadequado de fontes de energia no ecossistema pode causar um desbalanço de C na atmosfera, e como seu retorno ao compartimento mineral pode levar cerca de 400 milhões de anos, o compartimento biótico (biomassa) é única alternativa para a atuação antrópica na mitigação dos efeitos nocivos do desbalanço de C lançados à atmosfera, visto que o ciclo rápido de C ocorre na interação com a biomassa.

Entre os compartimentos bióticos podemos citar a biomassa microbiana, a fauna e, principalmente, a biomassa vegetal. Como fonte essencial ao desenvolvimento e formação de tecidos orgânicos, o C é assimilado nos vegetais na forma de CO₂ pelo processo de fotossíntese e, na presença de água e minerais, convertido em biomassa. Após senescer, este material depende da ação biológica (fauna e microorganismos) e climática para se decompor e pelo processo de reciclagem este material retornará à atmosfera na forma de gases, de forma cíclica.

Neste ciclo, a estabilidade do C no solo depende ativamente dos fatores: clima, quantidade e qualidade dos resíduos das plantas, atributos do solo que protejam a matéria orgânica contra ataque de microorganismos e atividade dos microorganismos (Resck et al., 2008).

Entre os fatores abióticos relacionados ao acúmulo e principalmente à retenção de C no solo estão: o clima, o manejo químico e mecânico do solo e na capacidade do solo em proteger fisicamente a matéria orgânica relacionada a fatores pedogenéticos do solo (Bayer & Mielniczuk, 2008).

No manejo mecânico do solo, a aração e gradagem aumentam a aeração do solo, o que estimula a ação microbiana sobre o material orgânico retido ao solo expondo-o com a ruptura dos agregados, assim, a respiração dos organismos aumenta, elevando a emissão de CO₂. Além disso, alguns sistemas de manejo com enfoque conservacionista podem diminuir a perda do CO do solo pela erosão hídrica (Hernani et al., 1999).

Além dos compartimentos abióticos existem também os compartimentos bióticos de C no solo. A fauna edáfica, que compreende a micro, meso e macro

fauna, são reservatórios de C e, além de participarem ativamente de sua dinâmica auxiliando na decomposição de tecidos de origem animal e vegetal, são agentes importantes na redistribuição deste material, em diferentes estados de decomposição, principalmente em profundidade no solo (Silva et al., 2006).

2.2 Importância do carbono orgânico no solo

Segundo Roscoe & Machado (2002) o CO do solo é oriundo de material vegetal, animal ou de microorganismos na forma de resíduos inalterados ou em diversos estágios de decomposição, compostos humificados e materiais carbonizados (ex. carvão em solos de savana), e podem estar associados ou não à fração mineral. Estes resíduos podem estar parcialmente ressintetizados e ao estarem em ativo estado de decomposição estão submetidos ao ataque contínuo de microorganismos (Silva & Resck, 1997).

A manutenção da qualidade de um solo deve estar relacionada a uma multiplicidade de fatores físicos, químicos e biológicos (Doran & Parkin, 1994) e o carbono orgânico total (COT) apresenta estreita relação com estas propriedades do solo (Ciotta et al., 2003).

2.2.1 Importância para atributos químicos

A principal fonte de CO nos solos é constituída de resíduos da biomassa vegetal (parte aérea e raízes). De modo geral considera-se que a matéria orgânica contém 58% de C com base no peso seco, desta forma usa-se o fator 1,724 (fator Van Bemmelen) para esta conversão (Jackson, 1970; Fasbender & Bornemisza, 1987; Silva & Resck, 1997). Os restos vegetais são componentes importantes aos agroecossistemas por funcionar como um reservatório de nutrientes (Costa, 2008).

A manutenção dos teores de CO no solo pode auxiliar grandemente nos atributos químicos do solo. Segundo Bayer & Mielniczuk (2008) entre as propriedades químicas afetadas pela matéria orgânica estão: a disponibilidade de nutrientes para as culturas, a capacidade de troca de cátions, a complexação de elementos tóxicos e micronutrientes, fundamentais em solos tropicais altamente intemperizados. Além disso, contribui para o aumento da capacidade de troca aniônica, estabilização da acidez do solo e influencia na formação de ácidos

orgânicos, facilitando a solubilização e mobilização de componentes inorgânicos (Fasbender & Bornemisza, 1987).

Uma das formas que os resíduos orgânicos podem contribuir para o aumento na quantidade de nutrientes para as plantas é por meio da reciclagem de nutrientes no sistema solo-planta. Durante os processos de decomposição e mineralização os resíduos fornecem energia e nutrientes para o desenvolvimento microbiano do solo, ocasionando na liberação de nutrientes essenciais às plantas tais como N, K, P, S, Ca, Fe, Mn e outros (Pereira & Peres, 1986). O K é um componente não estrutural e é liberado prontamente no processo de decomposição de resíduos enquanto que o Ca, Mg, C, P, S e N são liberados mais lentamente (Silva & Resck, 1997).

Esta capacidade de reciclagem de nutrientes está relacionada tanto à contribuição da serrapilheira quanto de raízes. As raízes influenciam as características do solo através da excreção de açúcares, ácidos orgânicos e compostos minerais de P e K, contribuindo para a dissolução de substâncias minerais e para o desenvolvimento de microrganismos na rizosfera. Segundo Valcarcel et al. (2007) enquanto 10 a 20% da serrapilheira é transformada em matéria orgânica do solo (MOS), estes valores podem variar entre 20 e 50% quando se considera a renovação das raízes.

O processo de mineralização dos resíduos é influenciado pelos estoques de C e é considerada por alguns autores como garantia de suprimento de nutrientes de forma gradual, funcionando como um fertilizante de liberação lenta (Braz et al., 2004).

Os teores de C no solo, quando alterados, relacionados tanto em quantidade como pela qualidade de seus resíduos de origem, tem implicações nas alterações do pH, na regulação da toxidez de alumínio, na dinâmica de N, P e de outros nutrientes (Lopes et al., 2004). Em relação ao pH, esta dinâmica é alterada principalmente em função da propriedade anfótera associada à matéria orgânica, ou seja, ora ela funciona como base, ora como ácido, esse comportamento modifica dependendo do balanço entre grupamentos carboxílicos (com pKa entre 2 e 5) e fenólicos (pKa entre 7 e 9) presentes nestes resíduos, o que pode resultar em uma variação do pH do solo entre 4,5 e 7,0 (Lopes et al., 2004).

Estudando a capacidade de trocas de cátions (CTC) associada à fração orgânica e mineral em solos de São Paulo, Raij (1969) verificou que a CTC

associada à fração orgânica variou entre 190 a 400 e.mg.100g⁻¹ entre amostras superficiais, e de 160 a 490 e.mg.100g⁻¹ em amostras subsuperficiais com estreita relação entre esta CTC e o pH dos solos, contribuindo em média com 74% da CTC do solo nas camadas superficiais.

Em solos de Cerrado a contribuição da fração orgânica do solo no aumento da CTC é ainda mais expressiva devido à ionização de grupos carboxílicos, enólicos e fenólicos e a aumentos no pH do meio (Silva & Resck, 1997). Ela é a principal componente responsável pela troca de cátions (Pereira & Peres, 1986) sendo responsável por até 90% da CTC do solo (Sousa & Lobato, 2000; Silva & Mendonça, 2007), chegando a apresentar em torno de 400-800 cmol_c.kg⁻¹ apenas pela fração húmica do solo (Bayer & Mielniczuk, 2008). Porém, é importante lembrar que, diferentemente das argilas 2:1, o CO não contribui com um valor fixo de CTC (Canellas et al., 1999), mas de modo geral, aumenta com o proporcional incremento do pH em função da ionização de grupos carboxílicos.

Esta alta contribuição da CTC associada ao CO do solo na região do Cerrado deve-se ao grande percentual de solos altamente intemperizados já que 45,7% deste bioma é composto por Latossolos e 15,2% de Neossolos quartzarênicos (Correia et al., 2004), representando mais de 60% do Cerrado com solos que representem baixa CTC relacionada à fração mineral do solo. Ao longo do processo de envelhecimento do solo, este sofre redução da atividade da fração argila (responsável pela CTC mineral) em função da lixiviação de bases (Resende et al., 2007). O aumento nos estoques de CO em Latossolos, sobretudo em SPD, é suficiente para ocasionar aumento expressivo na CTC destes solos com predominância de argila de atividade baixa (Ciotta et al., 2003).

A CTC da fração mineral pode ter valores de 3 a 120 cmol_c.kg⁻¹ (caulinita: 3-15 cmol_c.kg⁻¹; montmorilonita: 80-120 cmol_c.kg⁻¹; óxidos de Fe e Al: 4-10 cmol_c Kg⁻¹), a CTC associada à fração orgânica chega a variar entre 150 a 400 cmol_c.kg⁻¹, o que explica a sua significativa contribuição na CTC nestes solos (Theng et al., 1989; Novais & Mello, 2007).

Ao utilizar coeficientes de regressão como indicativo do solo em favorecer a CTC, Mendonça et al. (2006) verificaram que cada grama de COT em Latossolos do Cerrado contribui com 0,77 cmol_c.kg⁻¹ de carga negativa, enquanto que a contribuição de cada grama da fração argila era 157 vezes menor (49 μmol_c.kg⁻¹).

O sistema plantio direto, como sistema conservacionista, pode minimizar a perda de CO do solo. Na adoção deste sistema de plantio, Bayer & Mielniczuk (1997) encontraram um incremento de $314 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ de CTC e Soares (2006) encontrou em solos de Cerrado e em SPD uma alta relação ($r = 0,987$) entre a porcentagem de CO do solo e seu incremento em CTC.

Toda esta contribuição na CTC dependente do pH beneficia a adsorção de cátions trocáveis no solo (tais como Ca, Mg e K) mediante trocas com os grupos funcionais orgânicos aumentando assim a saturação por bases no complexo coloidal (Muzilli, 2002). Segundo Pavan et al. (1985) em média 83% da CTC dependente de pH está associada ao CO do solo em sete diferentes tipos de solo no estado do Paraná. Esta grande contribuição deve-se principalmente por estes solos apresentarem argilas de baixa atividade.

Os solos que apresentam maior grau de intemperismo podem tornar-se eletropositivos, diminuindo sua CTC e aumentando a intensidade de adsorção aniônica, principalmente para os ânions fosfato, molibdato e sulfato (Novais & Mello, 2007). Neste contexto a adsorção do P nos solos ocorre primeiramente nos sítios mais ávidos (de menor labilidade) e, posteriormente, o P remanescente é redistribuído em frações retidas com menor energia e de maior disponibilidade para as plantas (Rheinheimer & Anghinoni, 2001).

Especificamente para o P, a presença de resíduos orgânicos pode melhorar a reciclagem e eficiência do uso deste nutriente. Quando restos culturais retornam ao solo, a imobilização de P pelos microorganismos ocorrerá quando a relação C:P for igual ou superior a 300, quando estiver entre 200 e 300 haverá equilíbrio no sistema e se menor que 200 ocorrerá a mineralização do P (Siqueira et al., 2004; Costa, 2008).

A adoção de sistemas conservacionistas que aumentam o teor de matéria orgânica é uma das formas alternativas de aumentar a eficiência do uso de adubos fosfatados, pois contribuem para a reciclagem deste nutriente (Sousa & Lobato, 2004b; Sousa et al. 2004). Em sistema plantio direto Muzilli (2002), demonstrou que após vários anos de cultivo, o P solúvel de natureza inorgânica tende a ter teores mais elevados nas camadas mais superficiais devido à baixa mobilidade do nutriente e ao não revolvimento do solo. Além disso, considerando a avaliação do solo em profundidade 0 – 30 cm, a quantidade de P lábil (extraído pelo método Mehlich)

acumulado é superior no sistema que preserva e mantém por mais tempo a matéria orgânica do solo.

O modo de condução e o manejo de fertilizantes em sistemas conservacionistas, como no SPD, conduzem a aplicação do P a duas principais formas: no sulco de semeadura (ao lado e/ou abaixo da semente) e a lança sobre a superfície do solo. Neste contexto, podem ser observados maiores teores de P nas camadas superficiais (Sá, 1993).

Segundo Sá (2004), a adição contínua de formas de C, principalmente oriundo da decomposição de restos culturais, ocasiona uma competição dos compostos orgânicos pelos sítios de carga positiva dos colóides inorgânicos (fração mineral) formando complexos orgânicos com íons de Al^{3+} , Fe^{3+} e Mn^{2+} , o que contribui para a minimização da passagem do P lábil para a fase não lábil, aumentando a disponibilidade de P para as raízes. Além disso, a presença de CO no solo pode amenizar as reações de adsorção pois a mineralização lenta e gradual dos resíduos orgânicos proporciona a formação de formas orgânicas de P (Lopes et al., 2004).

2.2.2 Importância para os atributos físicos

A importante participação do CO do solo na melhoria da produtividade e de diversos atributos foi detectada há milênios pelos agricultores (Fasbender & Bornemisza, 1987). Ele exerce um importante papel na formação e estabilização dos agregados do solo, através de ligações de polímeros orgânicos por meio de cátions polivalentes, melhorando assim atributos físicos do solo (Muzilli, 2002).

A matéria orgânica, principal fonte de CO, atua como agente cimentante na agregação do solo (Ferreira & Dias Júnior, 1999) contribuindo para a melhoria da porosidade, beneficiando a aeração, a infiltração, armazenamento de água no solo (Castro Filho et al., 1998) e na estabilidade dos macroagregados (Salton et al., 2008). Também contribui com a manutenção de restos culturais na superfície do solo protege o solo do impacto da gota da chuva, agente desagregador do solo, diminuindo processos erosivos. Segundo Dedeczek et al. (1986) a presença de vegetação pode reduzir em até 90% as perdas do solo em relação a solos descobertos.

A capacidade de formação e estabilização de agregados pela matéria orgânica é mais expressiva em solos com maiores teores de argila devido à sua afinidade à fração argila do solo. No caso de solos arenosos outros agentes são mais importantes para a agregação do solo tais como a comunidade bacteriana e compostos de Fe e K (Dufranc et al., 2004).

Em solos de regiões tropicais, como por exemplo os Latossolos da região do Cerrado, a matéria orgânica do solo passa a ter um papel secundário na formação e estabilização dos microagregados, participando do processo de estabilização da fração mineral atuando fortemente na formação de agregados de maior tamanho, deste modo, como agente cimentante, ela retarda a entrada de água, aumentando a resistência dos agregados quando umedecidos, reforçando sua importância aos macroagregados destes solos (Silva & Mendonça, 2007).

A presença de matéria orgânica em solos é importante para outro aspecto físico, a capacidade de retenção, percolação e manutenção da água em solos. Embora estas propriedades estejam muito relacionadas à mineralogia, estrutura de micro e macroporos e à densidade do solo (Beutler et al., 2002), quando o perfil do solo é homogêneo em relação à textura, observa-se influência dos teores de matéria orgânica na capacidade de retenção de água no solo (Grohmann & Medina, 1962). Esta é uma informação que deve ser considerada principalmente em sistemas estabelecidos em áreas sujeitas a veranicos, pois, sendo a água um importante fator limitante à produção vegetal, quanto maior a capacidade de retenção de água, maior será o volume de água armazenada no solo.

A permanente cobertura do solo com restos vegetais assegura melhor a capacidade física e hídrica do solo e, por conseguinte, aumenta a disponibilidade de alguns nutrientes (Fidalski et al., 2007).

No solo, a matéria orgânica comporta-se de diferentes maneiras, contendo em sua estrutura molecular grupamentos polares e apolares, por isso a estrutura ativa da matéria macroorgânica é importante para reter água no solo, mantendo o equilíbrio biológico do sistema (Silva & Mendonça, 2007).

2.2.3 Importância para os atributos biológicos

A presença de CO nos compartimentos do solo é de suma importância para servir de fonte de energia para microorganismos que participam ativamente dos

processos de decomposição de tecidos orgânicos e mineralização de nutrientes. A permanência do estoque de C para manter a comunidade biótica do sistema é essencial para a manutenção dos nutrientes em formas disponíveis às plantas.

A estreita relação entre o CO do solo e os microorganismos, permite a definição da biomassa microbiana como a parte viva da matéria orgânica, incluindo nesta categoria: bactérias, actinomicetos, fungos, protozoários, algas e microfauna (Gama-Rodrigues & Gama-Rodrigues, 2008). A microbiota do solo é a principal responsável pela decomposição dos resíduos orgânicos, pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia dentro do solo, sendo por muitos autores, enquadrada como compartimento central no ciclo do C, representando reservatório de nutrientes como C, H, O, N, P, S, Ca, Mg, entre outros (Matsuoka et al., 2003).

Silva & Mendonça (2007) afirmaram que a matéria orgânica viva tem três diferentes compartimentos: os microorganismos, contribuindo com 60 a 80%; as raízes, contribuindo com 5 a 10% e a fauna edáfica com 15 a 30%.

Entre as funções da fauna edáfica estão: redução do tamanho do material orgânico, separação e mistura de componentes orgânicos e inorgânicos, formação e manutenção dos poros do solo e pela sua habilidade de locomoção, regulação e dispersão de microorganismos (Silva & Mendonça, 2007). Todas estas funções estão diretamente relacionadas com a redistribuição e principalmente com a disponibilização de nutrientes como N e P, aumentando a CTC e o CO do solo.

São utilizadas também para monitoramento da atividade biológica do solo, diversas enzimas agindo como catalisadoras e/ou fontes de decomposição da matéria orgânica. Estas enzimas são liberadas conforme a quantidade de nutrientes no solo e condições do ecossistema (Gama-Rodrigues & Gama-Rodrigues, 2008).

A utilização de enzimas pela biomassa microbiana ocorre normalmente quando um recurso é escasso. A β -glucosidase, por exemplo, pode ser uma conseqüência da maior complexidade dos resíduos vegetais mais lignificados, acarretando uma menor entrada de resíduos carbonados de rápida decomposição. As enzimas fitases e fosfatases mediam as reações de mineralização do P orgânico à P inorgânico para que o P associado aos tecidos orgânicos seja aproveitado pelas plantas (Stevenson & Cole, 1999).

A importância da vida no solo é muito bem reconhecida. A biomassa microbiana é um atributo crítico da matéria orgânica do solo, pois indica a habilidade

ou capacidade do solo em estocar e reciclar nutrientes e energia (Gregorich et al., 1994).

2.3 Fatores que afetam o acúmulo de carbono orgânico no solo

O C pode ser retido e acumulado no solo em diversos compartimentos, sendo afetado por fatores abióticos, entre eles: clima, condições edáficas de umidade, pH, potencial de oxi-redução e quantidade de nutrientes do solo; e fatores bióticos: quantidade e qualidade dos resíduos orgânicos e atividade microbiana (Muzilli, 2002).

A ação antrópica também altera significativamente a retenção e acúmulo de C no solo com o manejo intensivo de culturas, a exposição do solo e o manejo inadequado da proporção de biomassa no sistema. Segundo Braz et al. (2004) a manutenção dos estoques de C depende da otimização de fatores de manejo, pois influenciam diretamente na capacidade de produção de biomassa, tanto na parte aérea como no incremento de material orgânico do solo com órgãos vegetais subterrâneos tais como raízes, tubérculos ou rizomas.

A quantidade e qualidade do material, que será fonte de C no solo, dependem diretamente da espécie cultivada, do tipo de sistema adotado, do modo de aplicação de fertilizantes e do tipo dos fertilizantes utilizados. Com relação às espécies presentes no sistema, cada uma tem uma determinada capacidade de produção de biomassa aérea e de raízes.

Essa capacidade de incremento de biomassa no sistema depende das condições climáticas e edáficas, tais como a disponibilidade de nutrientes necessários à produção vegetal em quantidade e qualidade. O solo participa deste processo na disponibilização de água e nutrientes necessários à produção primária. Sabe-se que em ambientes clímax, solos com melhor condição de fertilidade natural possibilitam maior produção de biomassa, e diretamente interferem no acúmulo de matéria seca e nutrientes no solo.

Entre os nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas estão, além do C, H, O os macro (N, P, K, Ca, Mg, S) e micronutrientes (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Zn, Mo, Ni), sem os quais a planta não completa seu ciclo vital, além destes outros são classificados como benéficos às plantas. A capacidade dos solos em fornecer

estes elementos pode limitar ou não a produção vegetal. Alguns nutrientes, por sua vez, são mais limitantes em um sistema que outros.

O P é um elemento que influencia na distribuição e produção de biomassa vegetal, e o aumento do teor de matéria orgânica no solo, é uma opção para aumentar a reciclagem e eficiência no uso do P pelas plantas (Sousa et al., 2004) já que é uma das formas de aumentar as formas orgânicas de P com de menor energia de ligações. Esta afirmação concorda com os resultados de Mollier & Pellerin (1999) que identificaram o P como o nutriente que mais influencia na distribuição radicular. O incremento de CO pelas raízes é importante para que este nutriente permaneça por um maior tempo no solo, reduzindo as perdas de C para a atmosfera.

No incremento de biomassa vegetal, Amado et al. (2001) sugeriram que a inclusão de leguminosas em sistemas de rotação de culturas é uma estratégia que contribui para os estoques de CO no solo pelo incremento da adição de resíduos ao solo, favorecendo o acúmulo de matéria orgânica e o seqüestro de CO₂ tanto da parte aérea como da raiz, mas não associaram esta prática diretamente à adição de N por estas culturas. Neste trabalho os autores demonstram que em transcorridos oito anos de cultivo comercial de cultura de milho, a substituição do pousio na entressafra por sistemas de cultura com utilização mais intensa do solo, com o sistema milho+mucuna, promoveu um aumento de 5,42 Mg ha⁻¹ de C, no estoque de CO do solo.

Esta grande preocupação em efetivar rotação de culturas, principalmente com a utilização de leguminosas é ainda mais importante em algumas regiões para a permanência do C no solo, pois para acumular 1 Mg.ha⁻¹ de C no solo são necessários cerca de 80 kg ha⁻¹ de N (Roscoe et al., 2006).

Sendo a concentração de CO do solo diretamente influenciada pela produção da biomassa vegetal, e que a biomassa da parte aérea depositada sobre o solo influencia no acúmulo de C nas camadas mais superficiais no solo, o crescimento radicular das plantas é o principal responsável pelo incremento em matéria orgânica nas camadas subsuperficiais, portanto é importante observar alguns nutrientes que interferem diretamente na distribuição e crescimento de raízes.

Schindwein et al. (2003) avaliando toxidez por alumínio em raízes de soja, observaram que até concentrações de 0,15 mmol L⁻¹ as raízes de soja não foram afetadas em crescimento, em diâmetro ou área superficial, em concentrações

maiores que $0,30 \text{ mmol L}^{-1}$ houve espessamento das raízes, aumentando seu diâmetro e reduzindo a área superficial, o que interfere diretamente na capacidade de absorção de nutrientes da solução do solo.

Kanno et al. (1999) verificaram grande participação da biomassa radicular em relação à biomassa total de cinco espécies de pastagens tropicais sob pastejo contínuo em Cerrado. A *Brachiaria brizantha* apresentou 76% da biomassa em órgãos subterrâneos, enquanto que o *Andropogon gayanus* teve menor participação, pois 53% de sua biomassa são constituídas de raízes.

Braz et al. (2004) encontraram estocados no solo 83,3; 95,4 e 85,1 Mg ha^{-1} de C no solo respectivamente para áreas de mata nativa e em áreas sob pastagens *Brachiaria brizantha* e *Brachiaria decumbens*, ao avaliar teores de C do solo até 1 metro de profundidade em Dourados-MS, em experimentos de longa duração (18 anos).

Há diversidade de resultados quanto à variação na distribuição e a morfologia das raízes conforme o manejo do solo. Barber (1971) comparando o comprimento de raízes de milho em diferentes preparos de solo identificou que na camada superficial até 10 cm do solo, em sistema plantio direto havia cerca de 76% a mais de raízes em comparação ao sistema de plantio convencional. Abaixo desta camada, as raízes de milho foram pouco superiores no sistema de cultivo convencional (SCC). Porém, Bordin et al. (2008) ao comparar matéria seca e distribuição de raízes de soja e milho não identificaram diferenças significativas entre os métodos de preparo do solo, identificaram apenas que para as raízes de soja, o sistema radicular efetivo situa-se até 43 e 54 cm de profundidade e as de milho até 40 e 46 cm, respectivamente para SCC e SPD.

Raper Jr & Barber (1970) identificaram que a soja tem seu desenvolvimento de raízes predominantemente na camada de 0 a 15 cm, onde estão presentes mais de 85% da massa radicular da planta. Ramos et al. (2009) identificaram a influência da matéria orgânica sobre a produção de biomassa e grãos no feijoeiro. À medida que a quantidade de matéria orgânica no solo aumentava (com a adição de diferentes quantidades de resíduo de algodão), havia um significativo aumento da biomassa aérea e, conseqüentemente, de produção de grãos de feijão.

Schenk & Barber (1980), ao avaliar o crescimento da parte aérea e raiz em três genótipos de milho, observaram que em média o crescimento está na

proporção 3:1 em qualquer dos genótipos avaliados em qualquer idade avaliada (47, 54 e 68 dias após o plantio), desta forma, as raízes atuam diretamente como fonte de CO ao solo por imobilizar temporariamente C em sua biomassa radicular, podendo, inclusive, adicionar grandes quantidades de C em profundidade (Silva & Mendonça, 2007).

Ao avaliar o crescimento de raízes de capins Aruana e Tanzânia sob doses de nitrogênio até 20 cm de profundidade, Giacomini et al. (2005) identificaram que o crescimento e desenvolvimento de raízes foram diretamente afetados pela quantidade de nitrogênio oferecida para as pastagens. Segundo os autores, na dose de 150 kg ha⁻¹ de N, os capins Aruana e Tanzânia apresentaram, respectivamente 1,2 e 1,6 mg cm⁻³ de massa seca da matéria orgânica de raízes e na dose de 300 kg ha⁻¹, 1,1 e 1,8 mg cm⁻³ de solo, respectivamente.

Entre os fatores que limitam o crescimento radicular e, conseqüentemente, a distribuição de matéria orgânica em profundidade no solo, destaca-se a toxidez por alumínio e a deficiência do cálcio em profundidade no solo (Sousa & Ritchey, 1986), por isso, a adição de gesso pode atuar na melhoria das condições do ambiente radicular aumentando a distribuição e o alcance em profundidade das raízes de plantas anuais e perenes. Sousa et al. (1992) ao avaliar a distribuição relativa das raízes de milho em tratamentos com doses graduais de gesso (0, 2, 4 e 6 t ha⁻¹) verificaram que os tratamentos com 4 e 6 t ha⁻¹ apresentaram distribuição mais uniforme de raízes até a profundidade de 75 cm, o que segundo os autores, leva entre outros benefícios à melhoria da utilização de água no perfil do solo. Em cultivo de soja, o gesso pode incrementar a produção de grãos, o que leva diretamente a uma maior produção de biomassa, aérea e radicular, aumentando a quantidade de CO no solo.

Entre plantas perenes, a leucena apresentou incremento na produção de matéria seca na adição de gesso agrícola, pois, segundo Sousa et al. (1992) na dose de 6 t ha⁻¹ de gesso foram produzidas 6,8 t ha⁻¹ de matéria seca em comparação com 3,1 t ha⁻¹ nos tratamentos sem gesso agrícola. No que tange a distribuição de suas raízes, esta dose de gesso também influenciou na distribuição radicular em que, sem a aplicação de gesso, menos de 1% das raízes ultrapassavam a profundidade de 40 cm do solo, em tratamentos com gesso, 3% das raízes chegaram a alcançar 160 cm de profundidade, com um acréscimo de 61% de matéria seca de raízes em relação aos tratamentos sem gesso.

A comparação de resultados de acúmulo de C em solos sob diferentes usos e manejos deve ser feita, considerando, além do tempo de adoção de determinado sistema de manejo, a textura do solo e fatores climáticos locais (Freixo et al., 2002). As condições climáticas diferenciadas tais como temperatura, regimes hídricos e fotoperíodo influenciam na capacidade de decomposição dos materiais e na velocidade de mineralização da matéria orgânica, principalmente porque estes fatores influenciam a capacidade de processamento destes materiais pelos organismos vivos presentes no solo, que são agentes ativos neste processo de decomposição e mineralização.

Todos os processos dinâmicos de transformação evolutiva da matéria orgânica podem sofrer facilmente modificações por alterações ambientais (Guerra et al., 2008). A temperatura e a precipitação pluviométrica são os fatores que mais afetam a permanência do C em um sistema. Nos trópicos, as temperaturas mais elevadas e os regimes hídricos mais intensos resultam em maiores taxas de decomposição do material orgânico depositado ao solo (Muzilli, 2002; Bayer & Mielniczuk, 2008; Resck et al., 2008). Estima-se que a taxa de decomposição anual da matéria orgânica nas regiões subtropicais seja de 3,2% ao ano, o que corresponde a aproximadamente a uma taxa três vezes superior à decomposição de uma região temperada (1,05%) evidenciando, portanto, a importância em diferenciar as necessidades de manejo dos sistemas agrícolas na manutenção de sistemas sustentáveis de produção em diferentes regiões (Bayer & Mielniczuk, 2008).

Em estudos realizados para desenvolver um modelo de deposição da matéria orgânica do solo, Resck et al. (2008) apresentaram como aspectos importantes: textura, teores de N, P, S, C no solo, lignina do material de deposição e variáveis climáticas tais como: temperatura média mensal do ar (mínima e máxima), precipitação mensal e outros dados atmosféricos.

Faz-se necessário, que alguns trabalhos abordem de forma diferenciada o acúmulo, a deposição e as perdas de CO do solo nos diferentes Biomas, ou dividindo-os em regiões tropicais, subtropicais e temperadas. No Brasil, eles são geralmente divididos em biomas, mesmo assim, muitas vezes tem-se a necessidade de dividi-los em fitofisionomias, evidenciando a grande influência climática na dinâmica do C entre a litosfera, a atmosfera e a biomassa.

Mendonça & Leite (2006), ao avaliarem por modelagem matemática e simulação da dinâmica da matéria orgânica, comentaram inclusive que há

significativa diferença para estas estimativas não apenas climáticas, mas também em sistemas de manejo. Os sistemas naturais devem ser tratados diferentemente aos agroecossistemas, pois se observa que os simuladores apresentam melhor acurácia para agroecossistemas do que para sistemas naturais, sendo estes muito complexos.

2.3.1 Sistemas de manejo do solo

Os sistemas de manejo adotados para a utilização do solo na produção de alimentos, fibras e energia, são vários, alguns com enfoque conservacionista, outros com enfoque de uso intensivo ou industrial. A abordagem mais enfática dá-se principalmente entre dois sistemas bastante utilizados para culturas anuais, o SCC e o SPD.

O SCC é um sistema que se utiliza revolvimento mecânico do solo com sucessivas ações de preparo utilizando-se de implementos específicos que inverte a leiva do solo para controlar plantas daninhas, fazer a incorporação de nutrientes e modificar a estrutura física do solo (Anghinoni, 2007). Este sistema foi desenvolvido em regiões de clima temperado principalmente para promover a descompactação do solo após o período de inverno para condicionar o solo às condições que permitissem o manejo do solo para a condução da melhoria da fertilidade do solo e ações de plantio e tratos culturais diversos. Esta tecnologia foi se expandindo pelas áreas agricultáveis e utilizada em regiões de clima tropical sem a preocupação e a ótica de preservação dos sistemas produtivos.

O sistema plantio direto combina práticas biológicas, culturais, mecânicas e químicas, tais como o não revolvimento do solo e métodos integrados de controle de plantas invasoras, pragas e doenças (Anghinoni, 2007). Foi desenvolvido para aperfeiçoar o manejo com o objetivo básico de controle da erosão hídrica do solo. E a adoção deste sistema foi se adequando a diversas condições de manejo em relação à dinâmica diferenciada de processos de transformação da matéria orgânica do solo.

No mundo moderno, as primeiras literaturas sobre o SPD surgiram na década de 30 do século XX, iniciando-se na Inglaterra e hoje instalado em todos os continentes. No Brasil, a inserção deu-se na década de 70 na região sul do país alcançando mais de 20 milhões de hectares e representando mais de 50% da área

de produção de grãos (Sá, 1994). Segundo o MAPA (2010) este sistema de plantio já é maioria em todo o território nacional para os cultivos de milho, trigo, arroz, e canola.

Segundo Sá (1993) o SPD permite que o solo deixe de conter uma camada arável e passe a ter uma camada enriquecida em resíduos orgânicos, o que altera a dinâmica da matéria orgânica e a liberação de nutrientes no solo, pois com maiores concentrações de CO₂, a dinâmica da água no solo é profundamente alterada com a influência da atividade biológica cujos reflexos alteram o “status” de nutrientes nos solo.

2.4 Fósforo no solo

O P é um não-metal essencial à vida dos organismos, sua forma química no solo está associada a três principais frações inorgânicas ligadas ao ferro, cálcio e alumínio que, de modo geral, em ordem de grandeza em concentrações no solo tem-se: P-Fe > P-Al > P-Ca (Raij, 2004). A solubilidade e principalmente a disponibilidade deste nutriente no solo dependerá principalmente do grau de intemperização do mineral primário. Segundo Stauffer & Sulewski (2004) existe naturalmente um processo de proteção ambiental que sugere manter um baixo *pool* de P disponível na forma inorgânica, exigindo do ambiente local adequar-se à esta demanda combinando dispersão das raízes das plantas, mineralização da matéria orgânica e intemperização mineral.

Em solos altamente intemperizados predominam formas inorgânicas de P ligados com alta energia aos minerais do solo, tornando-se limitante ao desenvolvimento vegetal (Rheinheimer et al., 2008). Nestas condições, observa-se deficiência de P, ocasionando um reduzido desenvolvimento das plantas (Stauffer & Sulewski, 2004). Nestes casos, para garantir uma boa e necessária disponibilidade de P para a produção vegetal, prevalecerão disponíveis as formas orgânicas de P estabilizadas física e quimicamente (Santos et al, 2008).

De modo geral, em solos tropicais o conteúdo total de P é relativamente baixo e depende fundamentalmente da origem dos solos. O que ocorre na maior parte de solos brasileiros é a incidência de valores muito baixos de P total e alta capacidade de fixação de P (Furtini Neto et al., 2001; Resende et al., 2007). Este potencial de retenção de P em algumas regiões pode ser evidenciado na Figura 1.

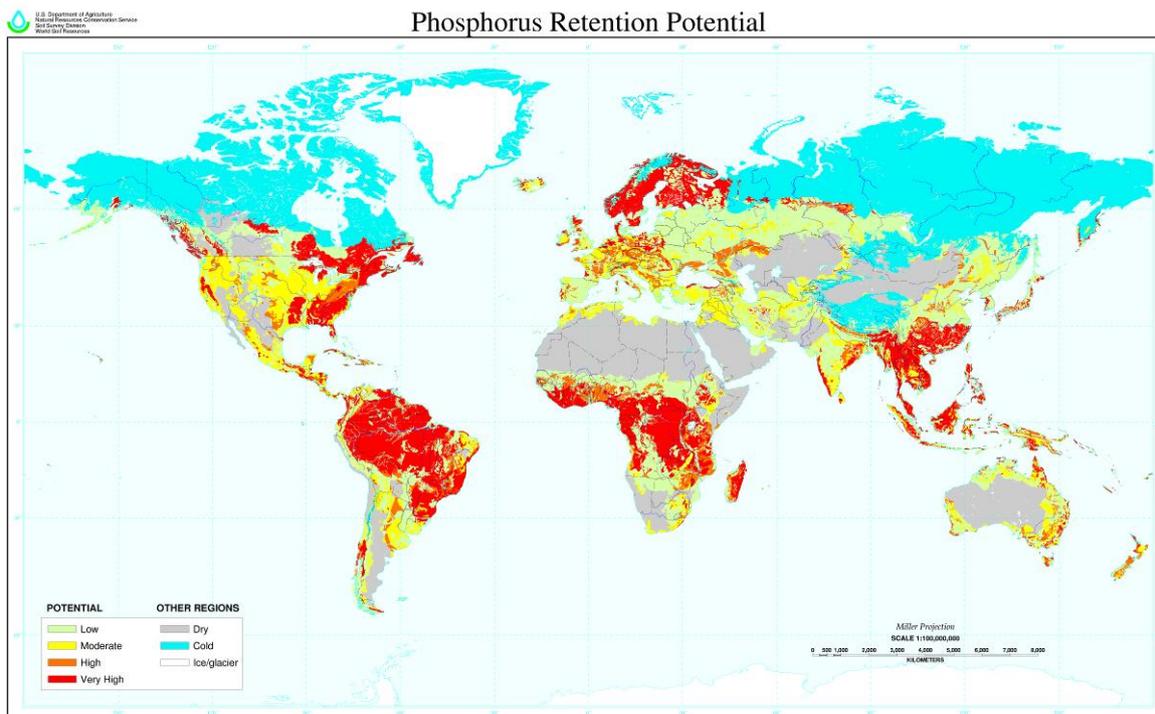


Figura 1. Potencial de retenção do fósforo no solo
 Fonte: USDA-NRCS (2002).

O P é um dos nutrientes que merecem bastante atenção para o Cerrado, pois, em condições naturais, sua concentração em formas disponíveis às plantas é muito baixa, limitando a produção agrícola nesta região (Sousa et al., 2004).

As maneiras de estudar e classificar as formas de P do solo são muitas, pois o P pode encontrar-se em grande variedade de elementos que variam a natureza química do ligante e a força de ligação entre o solo e este elemento.

Uma das formas de classificação que facilitam a compreensão da disponibilidade de P é quanto à labilidade deste elemento. Esta classificação está condicionada às propriedades do solo e capacidade de fornecimento de P por fenômenos bióticos ou abióticos. Para o P ser considerado não-lábil ele deve estar ligado com maior grau de estabilidade à fração mineral do solo e seus minerais secundários, ou seja, estabelecendo ligações de maior energia, como acontece geralmente em solos altamente intemperizados (ex. Latossolos), típicos de regiões tropicais (incluindo o Cerrado). Em solos jovens predominam as formas com ligações de menor energia, adsorvidas fracamente aos minerais secundários, comuns em Vertissolos, Chernossolos e Neossolos (Santos et al., 2008). Esta forma de classificação é importante para ilustrar a disponibilidade do P do ponto de vista

da fertilidade dos solos separando em formas lábeis, moderadamente lábeis e não-lábeis. Como esta classificação depende do equilíbrio do P em um ambiente solo-solução, estudos para quantificar as formas de P pela adição de fertilizantes fosfatados representam o movimento do P tal qual o seguinte esquema:



Para a verificação do P disponível às plantas (P-solução, P-lábil e P-não lábil) utilizam-se as soluções extratoras propostas por Hedley et al. em 1982 e algumas alterações da metodologia propostas por Condrón et al. em 1985, em que diferentes extratores são utilizados para separar o P desde as formas mais fracamente retidas até as formas mais estáveis. A seqüência proposta é a utilização de resina trocadora de ânions – RTA (Pi), NaHCO_3 0,5M a pH 8,5 (Pi e Po); NaOH 0,1M (Pi e Po); HCl 1,0M (Pi), NaOH 0,5M (Pi e Po); e digestão com $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{MgCl}$ (Pi e Po).

Cabe ressaltar, porém, que alguns autores discutem a eficiência de diferentes extratores para estimar a disponibilidade de P (Raij, 1999; Rheinheimer et al., 2000; Moreira & Malavolta, 2001; Santos et al., 2009) o que pode levar a um erro de sub-estimativa ou super-estimativa do P disponível as culturas, causando divergência entre alguns autores.

Existe também um segundo modo de classificação sobre as formas de P encontrado nos solos. São as formas orgânicas e inorgânicas. A participação da forma orgânica pode variar entre 25 a 75% e, em casos extremos, esta participação pode chegar a até 85% do P total no solo. O Fósforo orgânico (Po) está presente na forma de fosfolipídeos, ácidos nucleicos (facilmente mineralizáveis), fosfatos metabólicos, fosfoproteínas e, em sua maior parte (cerca de 50%) na forma de fosfatos de inositol (Fasbender & Bornemisza, 1987; Siqueira et al., 1994; Rheinheimer & Anghinoni, 2003).

Entre as formas de fósforo inorgânico (Pi) encontrados no solo estão principalmente os fosfatos cristalinos ligados aos elementos cálcio, ferro e alumínio tais como fosfato bicálcico (CaHPO_4) e suas formas hidratadas ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ e $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), as diversas formas de apatitas, fosfatos cristalinos complexos e ainda os fosfatos amorfos oclusos em hidróxidos de ferro, alumínio e manganês, denominados fosfatos oclusos ou inertes (Fasbender & Bornemisza, 1987). Esta

fase é também chamada de fase sólida de P e é onde se encontram as maiores concentrações deste elemento (Sá, 1994).

De maneira geral existem alguns fatores que determinam a participação das frações orgânicas e inorgânicas de P no solo tais como: temperatura, precipitação, acidez do solo, atividade biológica e grau de desenvolvimento do solo, mas principalmente em condições de acúmulo de CO₂, predominam os fosfatos na forma orgânica nos solos (Fasbender & Bornemisza, 1987; Fixen & Grove, 1990).

O ciclo do P no solo começa com a degradação lenta e gradual dos minerais primários pelo processo de intemperismo. O P inorgânico (Pi) migra à solução mantendo equilíbrio com a fase sólida, nesta etapa, parte do P da solução precipita formando os minerais secundários, a outra parte está disponível às plantas e aos microorganismos, podendo após o processo de decomposição retornar ao solo na forma orgânica, este P orgânico (Po) pode se estabilizar na presença de CO₂ e interagir com componentes minerais do solo. O processo de mineralização do Po fornece Pi para vegetais e microorganismos (Fasbender & Bornemisza, 1987; Guerra et al., 1996; Siqueira et al., 2004).

Segundo Rheinheimer et al. (1999) os estudos envolvendo a disponibilidade do P às plantas têm se concentrado na dinâmica do Pi e sua disponibilidade. Isto se deve principalmente às fontes inorgânicas de P adicionadas para fins de complementação da fertilidade do solo, melhorando o ambiente de produção, nos moldes de produtividade preconizados atualmente.

A adição de fertilizantes fosfatados, para a adequação da fertilidade do solo, pode ser feita com fosfatos naturais ou fertilizantes industrializados. A principal diferença que pode ser destacada entre estes dois grupos de fertilizantes é quanto à solubilidade do fosfato.

Os fosfatos naturais podem ser oriundos de rochas ígneas, metamórficas e sedimentares, as duas primeiras fornecem um material muito pouco reativo, o que resulta em um fertilizante de resposta muito lenta na disponibilização de P às plantas. Já os fosfatos naturais de origem sedimentar apresentam-se com estrutura cristalina pobremente cristalizada com maior superfície específica, além disso, o conteúdo aumentado de carbonatos presentes na apatita leva a uma maior reatividade da fonte fosfatada, sendo comumente chamados de fosfatos naturais reativos (Novais et al., 2007).

As fontes industrializadas são classificadas como solúveis e os principais fertilizantes fosfatados industrializados são: superfosfato simples ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$; 18% de P_2O_5), superfosfato triplo ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$; 43% de P_2O_5), MAP-Fosfato monoamônico ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$; 48% de P_2O_5) e DAP-Fosfato diamônico ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$; 45% de P_2O_5).

Para maximizar o uso do adubo fosfatado seu manejo deve otimizar a eficiência do fertilizante para que esta complementação nutricional seja eficiente em aumentar e melhorar a capacidade de crescimento das culturas. Assim, para cada fonte de P, alguns autores recomendam formas diferenciadas de aplicação. Para adubos fosfatados solúveis Sousa et al. (2004) sugerem que a adubação a lanço deve ser adotada para doses acima de 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 em SCC, para este mesmo tipo de fertilizantes, doses menores devem ser aplicadas no sulco de semeadura. Para solo não preparado, nos três primeiros anos, a adubação com superfosfato triplo aplicado a lanço (na dose de 80 kg ha^{-1} de P_2O_5) apresentou perdas de produtividade em relação à aplicação no sulco de semeadura (Sousa & Lobato, 2004c).

2.5 Distribuição do carbono orgânico e fósforo no solo

A variabilidade vertical e horizontal de nutrientes no solo e sua disponibilidade dependem diretamente de fatores relacionados ao seu manejo e suas interferências químicas, físicas e biológicas (Trevisan, 2008).

A entrada de CO no solo está relacionada, principalmente, com o aporte de resíduos da biomassa aérea e radicular das plantas, liberação de exudatos radiculares, lavagem de constituintes solúveis da planta pela água da chuva e transformação desses materiais carbonatados pelos macro e microorganismos do solo (Silva & Mendonça, 2007).

Os teores de C no solo são geralmente mais altos nas camadas superficiais e decrescem nas camadas subjacentes, isso ocorre, pois os valores encontrados de C total são provenientes de restos vegetais e animais recém depositados no solo, da fração húmica em seu processo de mineralização e/ou em processo de humificação e das formas inertes de C tais como carvão e grafite (Fasbender & Bornemisza, 1987).

Esta distribuição vertical do CO do solo foi verificada por Jobbágy & Jackson (2000) em diferentes tipos de vegetação em todo o mundo, os autores observaram que a porcentagem de CO nos 20 cm mais superficiais do solo (avaliados até 1 m de profundidade) é em média de 33%, 42%, e 50% para vegetação xerófila, pastagens, e florestas, respectivamente.

Bayer et al. (2004), avaliando teores de matéria orgânica em solos de Cerrado com diferentes rotações de cultura em plantio direto e comparando-as com o plantio convencional, concluíram que o SPD aumenta os estoques de CO no solo nas camadas superficiais, preferencialmente na forma de matéria orgânica particulada, mais sensível ao manejo do solo.

Resultados semelhantes sobre o teor de C no perfil do solo também foram identificados em experimentos com diversos sistemas de manejo de culturas por Corazza (1997) e Salton et al. (2005), em que, diferentes sistemas de manejo e sob diferentes culturas, a concentração de C decai à medida que se aprofunda no perfil do solo, isto se deve à deposição de material orgânico da vegetação presente. De modo geral, as maiores quedas destes teores ocorrem até 20 cm de profundidade, mesmo em locais de cultivos de espécies arbóreas.

O manejo e a condução da adubação no solo também influenciam na distribuição do C no solo. Ao avaliar a variação de teores de micronutrientes e CO do solo em profundidade, Teixeira et al. (2003) perceberam que tratamentos que envolveram maior revolvimento do solo (arado de aivecas e arado de disco), apresentaram maior homogeneidade de valores entre as profundidades avaliadas do que os tratamentos sem revolvimento do solo (SPD). Esta característica se manteve não apenas para os teores de CO, mas também para os teores de micronutrientes.

As áreas que utilizam plantas de cobertura durante a entressafra com culturas com alta produção de biomassa contribuem para o aumento da quantidade de C adicionada a cada ano. Esse aumento do CO do solo e da concentração de nutrientes altera a dinâmica de nutrientes, o pH e a toxidez por alumínio (Anghinoni, 2007).

No que se refere à distribuição do fósforo no solo, esta depende do modo de aplicação de fertilizantes, da fonte de fertilizante fosfatado, do sistema de cultivo adotado (SCC ou SPD) e do método de avaliação do fósforo utilizado para esta avaliação.

Ao avaliar a distribuição horizontal e vertical do fósforo, Santos (2009) identificou que o modo de aplicação fosfatada (a lanço em superfície ou no sulco de semeadura) interfere na distribuição do fósforo no solo. Quando aplicados a lanço em superfície, o fósforo tem distribuição mais homogênea na camada mais superficial, quando aplicado no sulco de semeadura, o fósforo fica concentrado próximo ao sulco concentrando-se mais entre 3 e 10 cm de profundidade.

Ao comparar sistemas de plantio (SCC e SPD) quanto à distribuição vertical de fósforo, Selles et al. (2002) observaram que o SPD preserva maiores teores de P em superfície que o SCC, sem prejuízos à produção de trigo.

Costa (2008) verificou efeito do manejo do solo (SCC ou SPD) e do modo de aplicação do adubo fosfatado (faixa, lanço ou na linha de plantio) na distribuição vertical de P (avaliado pelo método Mehlich I) até 15 cm de profundidade. O mesmo trabalho identificou maior variabilidade horizontal de distribuição de P no solo no tratamento com sistema de cultivo e adubação em faixa (20 cm de largura e 15 cm de profundidade).

3. OBJETIVOS E HIPÓTESES

3.1. Objetivo Geral

Avaliar a distribuição horizontal e vertical do carbono orgânico do solo, em Latossolo de Cerrado, sem adubação fosfatada e em quatro tratamentos de adubação fosfatada aplicada anualmente com superfosfato triplo ou fosfato natural reativo e dois modos de aplicação (lanço e sulco) em sistema plantio direto.

3.2. Objetivos específicos

1. Verificar o efeito da distribuição horizontal e vertical do carbono orgânico no solo.
2. Avaliar os teores de CO no solo em um tratamento testemunha (sem adição de adubo fosfatado) e quatro tratamentos com adubação fosfatada cada um sob uma fonte de adubo fosfatado (superfosfato triplo ou fosfato natural reativo) em diferentes modos de aplicação do fertilizante (sulco ou lanço).
3. Comparar os teores de carbono orgânico entre camadas de diferentes profundidades.

4. Avaliar a distribuição horizontal dos teores de carbono orgânico, em diferentes distâncias perpendicularmente à linha de plantio.
5. Comparar a distribuição vertical do carbono orgânico no solo, entre os tratamentos.
6. Avaliar a variação da distribuição horizontal do carbono orgânico no solo, em cada camada.
7. Verificar a relação entre o fósforo inorgânico e o carbono orgânico no solo.

3.3. Hipóteses do trabalho

1. Há diferença na distribuição horizontal e vertical do CO do solo entre os tratamentos;
2. A distribuição vertical do CO é influenciada pela presença da adubação fosfatada no sistema;
3. Os tratamentos com diferentes modos de aplicação de fertilizante apresentam distribuição horizontal do CO diferenciada.
4. A distribuição vertical do CO é influenciada pela fonte de adubo fosfatado;
5. Há relação entre o teor de fósforo inorgânico e carbono orgânico no solo.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMADO, T. J. C. **Matéria orgânica do solo no sistema de plantio direto: a experiência do Rio Grande do Sul.** Disponível em: <http://www.cesnors.ufsm.br/professores/vanderlei/solos_florestais/Materia_organica_Telmo%20J%20C%20Amado.pdf> Acesso em: 11 Set. 2009.

ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do Solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. XV, p. 873-928.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p. 1099-1108, 2007

BARBER, S. A. Effect of tillage practice on corn (*Zea mays* L.) root distribution morphology. **Agronomy Journal**, v. 63, p. 724 – 726, set-out. 1971.

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**, Brasília, v. 39, n. 7, p.677-683, 2004.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. Campinas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p.235-239, 1997.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** 2ª Edição. Porto Alegre: Metrópole, cap.2, 2008. p.7-18.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SOUZA, Z. M.; ANDRIOLI, I.; ROQUE, C. G. Retenção de água em dois tipos de latossolos sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p.829-834, 2002.

BORDIN, I.; NEVES, C. S. V. J.; MEDINA, C. C.; SANTOS, J. C. F.; TORRES, E.; URQUIAGA, S. Matéria seca, carbono e nitrogênio de raízes de soja e milho em plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n.12, p.1785-1792, dez. 2008.

BRAZ, S. P.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. **Degradação de pastagens, matéria orgânica do solo e a recuperação do potencial produtivo em sistemas de baixo "input" tecnológico na região dos cerrados.** Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2004. 8 p.

CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. Reações da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo.** Porto Alegre – RS: Genesis, 1999. p.69-89.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p.147-157, 2009.

CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M.; VIEIRA, S.R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.1151-1159, 2002.

CASALINHO, H. D.; MARTINS, S. R.; SILVA, J. B.; LOPES, A. da S. Qualidade do solo como indicador de sustentabilidade em agroecossistemas. **Revista Brasileira Agrociência**, Pelotas – RS, v. 13, n. 2. p.195-203, 2007.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PADANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.3 p.527-538, 1998.

CHAER, G. M. **Modelo para determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos**. 2001. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Viçosa, Viçosa, 2001.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; ERNANI, P. R.; ALBUQUERQUE, J. A. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**. v. 33, n. 6, p.1161-1164, nov-dez. 2003.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.777-788, 2005.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; SPAGNOLLO, E. Componentes da matéria orgânica como indicadores de qualidade do solo. **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. Ribeirão Preto- SP, 2003.

CORAZZA, E. J. **Caracterização da matéria orgânica nos perfis de Latossolo do Distrito Federal**. 73 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 1997.

COSTA, A. S. V. **O fósforo no sistema solo-planta**. Governador Valadares: Univale, 2007. 63 p.

COSTA, E. A.; GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G. Qualidade do solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.41, n.7, p.1185-1191, jul. 2006.

COSTA, F. S.; ZANATTA, J. A.; BAYER, C. Emissões de Gases de Efeito Estufa em Agroecossistemas e Potencial de Mitigação. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Eds). **Fundamentos da matéria orgânica do Solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre – RS: 2008. cap.

28. p. 545-560.

DEDECEK, R. A.; RESCK, D. V. S.; FREITAS, J. E. Perdas de solo, água e de nutriente por erosão em Latossolo Vermelho-Escuro dos Cerrados em diferentes cultivos sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 10, p.256-272, 1986.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWARDT, B. A., eds. **Defining soil quality for sustainable environment**. Madison, Soil Science Societ of America, 1994. p. 1-20.

DUFRANC, G.; DECHEN, S. C. F.; FREITAS, S. S.; CAMARGO, O. A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois latossolos em plantio direto no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28 p.505-517, 2004.

FASBENDER, H. W.; BORNEMISZA, E. **Química de suelos com enfasis em suelos de América Latina**. 2ª ed. rev. San José - Costa Rica: IICA, 1987. 420 p.

FERREIRA, M. M.; DIAS JÚNIOR, M. S. **Física do Solo**. Lavras-MG: UFLA/FAEPE, 1999. 101p.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; SCAPIM, C. A. Espacialização vertical e horizontal dos indicadores de qualidade para um Latossolo Vermelho cultivado com citros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31 p.9-19, 2007.

FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. O. A.; GUIMARÃES, C. M.; SILVA, C. A.; FADIGAS, F. S. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.425-434, 2002.

FURTINI NETO, A. E.; VALE, F. R. do; RESENDE, A. V. de; GUILHERME, L. R. G.; GUEDES, G. A. de A. **Fertilidade do solo**. Lavras-MG: UFLA/FAEPE, 2001. 261p.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.). **Fundamentos de matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2ª Edição. Porto Alegre: Metrópole, cap.11, 2008. p.159-170.

GIACOMINI, A. A.; MATTOS, W. T.; MATTOS, H. B.; WERNER, J. C.; CUNHA, E. A.; CARVALHO, D. D. Crescimento de raízes dos capins Aruana e Tanzânia submetidos a duas doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 4. p.1109-1120, 2005.

GOEDERT, W. J.; OLIVEIRA, S. A. Fertilidade do solo e sustentabilidade da atividade agrícola. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; BARROS, N, F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. XVIII, p.991-1017.

GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R.; ANGERS, D. A.; MONREALL, C. M.; ELLERTA, B. H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in

agricultural soils. **Canadian Journal Of Soil Science**, p. 367-385, 1994.

GROMANN, F.; MEDINA, H. P. Características de umidade dos principais solos do estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.21, n.18, p.285-295, mar. 1962.

GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L.; SANTOS, G. A.; FERNANDES, M. S. Conteúdo de fósforo orgânico em amostras de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.31, n.4, p.291-299, abr. 1996.

GUERRA, J. G. M.; SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CAMARGO, F. A. O. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.). **Fundamentos de matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2ª Edição. Porto Alegre: Metrópole, cap. 3, 2008. p.19-26.

HERNANI, L. C.; KURIHARA, C. H.; SILVA, W. M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.145-154, 1999.

JACKSON, M. L. **Analisis químico de suelos**. Barcelona: Omega, 1970. 662p.

JOBÁGY, E. G.; JACKSON, R. R. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. **Ecological Applications**, v. 10, n. 2, p. 423-436, 2000.

KANNO, T.; MACEDO, M. C.; EUCLIDES, V. P. B.; BONO, J. A.; SANTOS JR, J. D. G.; ROCHA, R. M. C.; BERETTA, L. G. R. Root biomass of five tropical grass pastures under continuous grazing in Brazilian Savannas. **Grassland Science**. v. 45 (1). p. 9-14, 1999.

KUO, S. Phosphorus. In: SPARKS, D. L.; PAGE, A. L.; HELMKE, P. A.; LOEPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P. N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSTON, C. T.; SUMNER, M. E. (Ed.) **Methods of soil analysis** Part 3: Chemical methods. Madison: Soil Science Society of America - American Society of Agronomy, 1996. v.3 p. 869-920.

LILIENFEIN, J.; WILCKE, W.; AYARZA, M. A.; VILELA, L.; LIMA, S. do C.; ZECH, W. Chemical fractionation of phosphorus, sulphur, and molybdenum in Brazilian savannah oxisols under different land use. **Geoderma**, Amsterdam, v. 96, p. 31-46, 2000.

LOPES, A. S.; WIETHÖLTER, S.; GUILHERME, L. R. G.; SILVA, C. A. **Sistema plantio direto: bases para o manejo da fertilidade do solo**. ANDA: Associação Nacional para Difusão de Adubos, 2004, 115 p.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2009/2010** – Décimo Primeiro Levantamento. Brasília-DF, ago. 2010, 41p.

MARZALL, K.; ALMEIDA, J. Indicadores de sustentabilidade para agroecossistemas: estudo da arte, limites e potencialidades de uma nova ferramenta para avaliar o desenvolvimento sustentável. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**. Brasília, v.17, n.1, p.41-59, jan.-mar. 2000.

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**, v.27, p.425-433, 2003.

MENDONÇA, E. S.; LEITE, L. F. C. Modelagem matemática e simulação da dinâmica da matéria orgânica do solo. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo e, sistemas conservacionistas**. Dourados-MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. p.75-106.

MENDONÇA, E. S.; ROWELL, D. L.; MARTINS, A. G.; SILVA, A. P. Effect of pH on the development of acidic sites in clayey and sandy loam Oxisol from the Cerrado Region, Brazil. **Geoderma**, v. 132, mai. 2006, p. 131-142

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Porto Alegre-RS: Genesis, 1999. p.1-8.

MOLLIER, A.; PELLERIN, S. Maize root system growth and developments influenced by phosphorus deficiency. **Journal of Experimental Botany**. Oxford, v.50, n.333, p.487-497, 1999.

MUZILLI, O. **Manejo da matéria orgânica no sistema plantio direto: a experiência no estado do Paraná**. 2002. Disponível em: <[http://www.ipni.net/ppiweb/pbrazil.nsf/926048f0196c9d4285256983005c64de/1a95e0cafd0ea7d883256c9500661f74/\\$FILE/Anais%20Osmar%20Muzilli.doc](http://www.ipni.net/ppiweb/pbrazil.nsf/926048f0196c9d4285256983005c64de/1a95e0cafd0ea7d883256c9500661f74/$FILE/Anais%20Osmar%20Muzilli.doc)> Acesso em 10 de set. 2009.

NEUFELDT, H.; SILVA, J. E.; AYARZA, M.A.; ZECH, W. Land-use effects on phosphorus fractions in Cerrado oxisols. **Biology and Fertility of Soils**. Heidelberg, v.31, p.30-37, 2000.

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

NOVAIS, R. F.; MELLO, J. W. V. Relação solo-planta. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; BARROS, N, F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. IV, p.133-204

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. Chemical and mineralogical characteristics of selected acid soils of the state of Parana, Brazil. **Turrialba**, v. 35, n. 2, p.131-139, abr.- jun. 1985.

PEREIRA, J.; PERES, J. R. R. Manejo da matéria orgânica. In: GOEDERT, W. **Solos dos cerrados**. Brasília-DF: EMBRAPA, Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, 1986. p.261-284.

RAIJ, B. A capacidade de troca de cátions das frações orgânica e mineral em solos. **Bragantia**. Campinas – SP. v. 28, n. 8. p.85-112, 1969.

RAMOS, S. J.; ALVES, D. S.; FERNANDES, L. A.; COSTA, C. A. Rendimento de feijão e alterações no pH e na matéria orgânica do solo em função de doses de composto de resíduo de algodão. **Ciência Rural**. v. 39, n. 5, p.1572-1576, 2009.

RAPER JR, C. D.; BARBER, S. A. Rooting systems of soybeans. I: Differences in root morphology among varieties. **Agronomy Journal**, n. 62. p. 581-584, 1970.

REEVES, D. W. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. **Soil & Tillage Research** n. 43 p.31-167, 1997.

RESCK, D. V. S.; FERREIRA, E. A. B.; FIGUEIREDO, C. C.; ZINN, Y. L. Dinâmica da matéria orgânica no Cerrado. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.). **Fundamentos de matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2ª Edição. Porto Alegre: Metrópole, cap.21, 2008. p.359-418.

RESENDE, M.; CURTI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 5ª.edição. Lavras – MG: Editora UFLA, 2007. 322p.

RHEINHEIMER, D.; CASSOL, P. C.; KAMINSKI, J.; ANGHINONI, I. Fósforo orgânico do solo. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.). **Fundamentos de matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2ª Edição. Porto Alegre: Metrópole, cap.08, 2008. p.101-112.

RHEINHEIMER, D.S.; ANGHINONI, I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.151-160, 2001.

ROSCOE, R. O seqüestro de carbono no sistema plantio direto: Possibilidades de contabilização. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo e, sistemas conservacionistas**. Dourados – MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. p.43-63.

ROSCOE, R.; BODDEY, R. M.; SALTON, J. C. Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo e, sistemas conservacionistas**. Dourados – MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. p.43-63.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo em estudos de matéria orgânica**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 86 p.

SÁ, J. C. M. Adubação fosfatada no sistema plantio direto. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S., (Eds.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba – SP: Potafos, 2004. p.201-222.

SA, J.C. M. **Manejo da fertilidade do solo no plantio direto**. Castro-PR: Fundação ABC, 1993. 96p.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRICIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C. **Matéria orgânica do solo na**

integração lavoura-pecuária em Mato Grosso do Sul. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2005. 58 p.

SANTOS, D. B. M. **Distribuição do fósforo no perfil do solo sob sistema plantio direto.** 2009. 81 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade de fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria-RS, v.38, n.2, p.576-586, mar-abr. 2008.

SCHENCK, M. K.; BARBER, S. A. Potassium and phosphorus uptake by corn genotypes grown in the field as influenced by root characteristics. **Plant and Soil**. n.54. p. 65-76, 1980.

SCHLINDWEIN, J. A.; NOLLA, A.; ANGHINONI, I.; MEURER, E. J. Redução da toxidez de alumínio em raízes de soja por culturas antecessoras no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 9, n. 1, p.85-88. jan.-mar. 2003.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; BARROS, N, F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds). **Fertilidade do solo.** Viçosa – MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p. 275-374.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; BARROS, N, F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo.** Viçosa – MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p.275-374.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S. Matéria orgânica do solo. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. (Eds). **Biologia dos solos dos cerrados.** Planaltina-DF: Embrapa-CPAC, 1997. p.467-516.

SILVA, R. F.; AQUINO, A. M.; MERCANTE, F. M.; GUIMARÃES, M F. Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da Região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 4, p.697-704, abr. 2006.

SIQUEIRA, J. O.; ANDRADE, A. T.; FAQUIN, V. O papel dos microorganismos na disponibilização e aquisição de fósforo pelas plantas. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S., (Eds.). **Fósforo na agricultura brasileira.** Piracicaba – SP. Potafos, 2004. p.117-149.

SOARES, J. R. R. **Matéria orgânica e atributos químicos de solo sob dois sistemas de cultivo:** preparo convencional (SPC) e plantio direto (SPD). 2006. 24 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado.** Potafos – Informações agrônômicas, n.102, jun. 2003 16p. (Encarte técnico)

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado.

In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S., (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba – SP: Potafos, 2004. p.157-196.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto: experiência no Cerrado. In: Reunião brasileira de fertilidade do solo e nutrição de plantas. Santa Maria – RS: Fertbio, 2000: **anais...** 10p.

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**. 2.ed. Brasília – DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 147-183p.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; GOEDERT, W. Manejo da fertilidade do solo no Cerrado. In: ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. (Ed.). **Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. Brasília – DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 2 v. p. 203 – 260.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; RITCHEY, K. D.; REIN, T. A. Resposta de culturas anuais e leucena a gesso no Cerrado. In: IBRAFOS. **II seminário sobre o uso do gesso na agricultura**. Uberaba – MG. IBRAFOS, 1992. p. 277-306.

SOUSA, D. M. G.; REIN, T.; GOEDERT, W. J.; LOBATO, E.; NUNES, R. S. Fósforo. In: Simpósio sobre boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: nutrientes; v.2. Piracicaba – SP: IPNI, 2010: **anais...** 55p.

SOUSA, D. M. G.; RITCHEY, K. D. Uso de gesso no solo de Cerrado. In: **Seminário sobre o uso do fosfogesso na agricultura**. Brasília. Embrapa DDT, 1986. p. 119-144.

STAUFFER, M. D.; SULEWSKI, G. Fósforo-essencial para a vida. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S., (Eds.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba – SP: Potafos, 2004. p. 1-12.

STEVENSON, F. J.; COLE, M. A. **Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients**. 2. ed. New York: J. Wiley, 1999. 427 p.

TEIXEIRA, I. R.; SOUZA, C. M.; BOREM, A.; SILVA, G. F. Variação dos valores de pH e dos teores de carbono orgânico, cobre, manganês, zinco e ferro em profundidade em argissolo vermelho-amarelo, sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Bragantia**, Campinas – SP. v. 62, n. 1, p. 119-126, 2003.

THENG et al. In: COLEMAN, D. C.; OADES, J. M.; UEHARA, G. (Ed.). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Hawaii: Niftal Project/University of Hawaii, 1989. 249p.

TREVISAN, L. R.; LANA, R. M. Q.; ZANÃO JÚNIOR, L. A.; GUIMARÃES, E. C.; LACERDA, Z. M. Variabilidade vertical de fósforo, micronutrientes e matéria orgânica em Latossolo Vermelho cultivado sob sistema plantio direto e cultivo mínimo. **Horizonte Científico**, v. 1, p. 1-13, 2008.

USDA-NRSC. United States Department of Agriculture – Natural Resources Conservation Service. **Phosphorus Retention Potential Map**. Soil Survey Division, World Soil Resources, Washington D.C., 2002. Disponível em:

<http://soils.usda.gov/use/worldsoils/mapindex/phos.html>. Acessado em Agosto de 2009.

VALCARCEL, R.; VALENTE, F. D. W.; MOROKAWA, M. J; CUNHA NETO, F. V.; PEREIRA, C. R. Avaliação da biomassa de raízes finas em área de empréstimo submetida a diferentes composições de espécies. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.31, n.5, p.923-930, 2007.

CAPÍTULO ÚNICO

DISTRIBUIÇÃO DO CARBONO ORGÂNICO EM SOLO SOB PLANTIO DIRETO, EM FUNÇÃO DE FONTES E MODOS DE APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES FOSFATADOS

RESUMO

Objetivou-se com este trabalho, avaliar a distribuição vertical e horizontal do carbono orgânico (CO) do solo em Latossolo de Cerrado, após oito anos de estabelecimento com sistema plantio direto (SPD) cultivado com soja e milho e o milheto como planta de cobertura. As parcelas foram submetidas a 5 tratamentos, sendo: duas fontes de adubo fosfatado (superfosfato triplo ou fosfato natural reativo) com doses anuais de 80 kg de P_2O_5 ha^{-1} , e dois modos de aplicação (a lanço ou no sulco de semeadura) e sem adição de fertilizante fosfatado (testemunha). Para a verificação da distribuição vertical e horizontal as amostras de solo foram coletadas perpendicularmente à linha de plantio em sete pontos (distanciados 12,5 cm cada) e em cinco profundidades (0 – 2,5; 2,5 – 5; 5 – 10; 10 – 20; 20 – 30 cm). Os resultados foram analisados estatisticamente onde se constatou que os teores de CO do solo são significativamente afetados pela adubação fosfatada aplicada ao sistema, independentemente da fonte de adubo fosfatado e do modo de aplicação do fertilizante. Quanto maior a profundidade, menor é o teor de CO do solo, significativamente diferentes ao teste Tukey-Kramer a 5% para todas as camadas. Foram identificados maiores teores de CO na linha de plantio de milho, sendo nitidamente superior nos tratamentos com adição de adubos fosfatados que apresentaram distribuição horizontal diferenciada na linha de plantio até 10 cm de profundidade. As camadas mais superficiais acumularam mais CO que as camadas subjacentes, exceto no tratamento sem adição de adubos fosfatados. Na camada mais profunda (20 a 30 cm) a adição de fósforo no solo não alterou significativamente os teores de CO do solo. O modelo quadrático-platô foi ajustado aos dados e indicou que os teores de fósforo inorgânico no solo influenciam positivamente no acúmulo de CO no solo, de modo que até 170 ppm de P_i no solo os teores de CO do solo aumentam até atingir um patamar de 19,5 g kg^{-1} .

Palavras Chave: Matéria orgânica, Biomassa, Cerrado, Latossolos.

DISTRIBUTION OF ORGANIC CARBON IN SOIL UNDER NO-TILL SYSTEM, WITH DIFFERENT SOURCES AND MANAGEMENT OF PHOSPHORUS FERTILIZERS.

Abstract

The aim of with this paper is evaluate the horizontal and vertical distribution of the organic carbon of soil established with no-till system in Brazilian Savanna, after eight years of establishment and cultivated with soybean, corn and the millet of winter cover-crop. The plots were submitted to 5 treatments under two phosphate fertilizers (triple superphosphate or reactive natural phosphate) with an annual rate of 80 kg of P_2O_5 ha^{-1} and two forms of application (in sowing furrow or in the surface) and without addition of phosphate fertilizers. In order to evaluate the horizontal and vertical distribution, soil samples were collected cross to the line of seeding, in seven points (distant each 12,5 cm) and in five depths (0 – 2.5; 2.5 – 5; 5 – 10; 10 – 20; 20 – 30 cm). The results showed that the content of soil organic carbon is significantly affected by the presence of inorganic phosphorus in the soil, independently of the phosphate fertilizer or type of application. As depth increases, the soil organic carbon falls significantly, different to Tukey-Kramer test at 5%, for all the layers. It was detected more soil organic carbon in the crop row, with biggest difference in treatments with addition of phosphate fertilizers to 10 cm depth. The superficial layer (0 – 2,5 cm) accumulated more soil organic carbon than underlying layers, except in the treatments without phosphate fertilizers. In the deepest layer (20 to 30 cm), the content of soil organic carbon was not significantly different for all treatments. The model quadratic-plateau was adjusted and indicated that the contents of inorganic phosphorus in soil had positive influence in accumulate soil organic carbon.

Keywords: Organic matter, biomass, savanna, oxisol.

1. INTRODUÇÃO

O carbono orgânico (CO) é um dos principais indicadores de qualidade do solo, sua avaliação é importante para verificar a sustentabilidade do sistema, seja ele natural ou antropicamente modificado. Por ser um atributo de fácil e rápida medição e correlacionar-se com outros atributos do solo, é um indicador chave para verificar aspectos físicos, químicos e biológicos do solo.

Todo o manejo que é capaz de aumentar os teores de CO no solo contribui para a melhoria de atributos químicos tais como o aumento da capacidade de troca de cátions e ânions associados à fração orgânica, aumenta a disponibilidade de nutrientes, aumenta o poder tampão hidrogeniônico, reduz o ponto de carga zero e aumenta a capacidade de reciclagem de nutrientes, melhorando significativamente o potencial de resiliência do sistema, e a capacidade de produção vegetal.

Além de participar ativamente de processos pedogenéticos, alterar a cor e diferenciar horizontes do solo, entre os aspectos físicos associados ao CO do solo é possível destacar a formação de agregados, redução da plasticidade do solo, regulação da temperatura, o aumento da retenção de água no solo e a redução do impacto da gota da chuva, diminuindo a erosão, já que a deposição de resíduos vegetais é a principal fonte de carbono ao solo.

Além dos atributos físicos e químicos, o CO é fonte de energia para os microorganismos. Este aumento da atividade microbiana contribui para aumento da produção de auxinas e antibióticos, aumentando as taxas de decomposição de tecidos orgânicos e mineralização de nutrientes.

Ao avaliar a distribuição em sentido horizontal e vertical do CO no solo, deve-se levar em consideração a principal fonte de carbono ao solo, a vegetação. O sistema de manejo e o aporte de nutrientes a ele associado são fundamentais para entender esta distribuição e auxiliar na manutenção dos teores de CO no solo, aumentando sua qualidade.

O sistema plantio direto (SPD) favorece o acúmulo de material orgânico em superfície pela ausência de revolvimento do solo e/ou restringindo o crescimento radicular em profundidade (Silva et al., 2000) e pode trazer benefícios que permitam sua melhor distribuição do C no perfil do solo se comparado a outros métodos de manejo (Amado et al., 2001).

Alguns trabalhos destacam o manejo do solo como responsável pela manutenção e distribuição do carbono (C) no perfil do solo (Reeves, 1997; Tavares Filho et al., 2001; Costa et al., 2008; Carneiro et al., 2009) ressaltando sempre a grande relevância do SPD, enquanto outros, indicam que a distribuição do C em profundidade é resultante de alguns atributos químicos relacionados à fertilidade do solo (Schenk & Barber, 1980; Mollier & Pellerin, 1999; Costa, 2008; Costa et al., 2009).

Entre os aspectos de fertilidade do solo, o fósforo (P) tem grande relevância no sistema solo-planta, influenciando crescimento de raízes (Schenk & Barber, 1980; Mollier & Pellerin, 1999) e produção de biomassa. O manejo do fertilizante fosfatado, como a escolha da fonte (superfosfato triplo ou fosfato natural reativo) e o modo de aplicação (a lanço em superfície ou no sulco de semeadura), influencia na distribuição horizontal e vertical do P extraível (Santos, 2009) podendo, portanto, influenciar na distribuição do CO no solo.

Esta relação entre C e P no solo pode ser observada de duas maneiras, o P influenciando no acúmulo de C no solo (Matos et al., 2006) ou C facilitando a disponibilidade do P (Mello Ivo & Mielniczuk, 1999; Novais & Mello, 2007), evidenciando uma relação de causa-efeito mútua. Visualizar o P como um agente facilitador da permanência do C do solo é interessante para valorizar o manejo do fertilizante fosfatado, para que seja visto como auxiliar na manutenção da qualidade do solo.

Perceber a importância do P como modulador da permanência do C no solo é relevante para sustentar e manter uma agricultura de baixo carbono já que, prezar pela permanência do C no solo, é uma forma de reduzir os efeitos da agricultura sobre o efeito estufa.

Objetivou-se com a elaboração deste trabalho avaliar a distribuição horizontal e vertical do CO do solo, em Latossolo de Cerrado, sem adubação fosfatada e em quatro tratamentos de adubação fosfatada aplicada anualmente com superfosfato triplo ou fosfato natural reativo, cada um sob dois modos de aplicação (lanço e sulco) em sistema plantio direto.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área de estudo deste trabalho localiza-se na Embrapa Cerrados em Planaltina-DF sob o fuso 23L com coordenadas UTM de 209.462 L e 8.273.250 S e à altitude de 992 m (Córrego Alegre), o local apresenta clima Cwa com precipitação e temperatura média anual de 1.570 mm e 21,3°C, respectivamente.

O experimento foi estabelecido sob um Latossolo Vermelho distrófico típico (originalmente sob vegetação de Cerrado), e instalado com o objetivo de avaliar agronomicamente duas fontes de P aplicadas na dose de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato triplo granulado, fosfato natural reativo e mistura na proporção 1:1 do superfosfato triplo microgranulado com fosfato natural reativo), em dois modos de aplicação (lanço na superfície e sulco de semeadura) e três condições iniciais de P no solo: sem correção (natural), corrigido com fosfato natural reativo ou com superfosfato triplo (dose de 240 kg ha⁻¹ de P₂O₅).

Antes do preparo do solo para estabelecimento do experimento, foram realizadas análises químicas e granulométricas do solo nas parcelas, em amostras compostas de 20 subamostras na camada 0 a 20 cm. Após sua avaliação (Tabela 1), em junho de 1999 foram aplicados a lanço e incorporados ao solo: calcário dolomítico (PRNT 65%), potássio (adubação corretiva com cloreto de potássio), enxofre (pela adição de gesso agrícola) e micronutrientes, tal qual recomendações descritas em Sousa & Lobato (2004a). Em seguida ao preparo do solo, foi realizado o plantio de mucuna preta (*Mucuna aterrina*). Nos dois primeiros anos do experimento cultivou-se soja (*Glycine max*) e nos anos posteriores adotou-se rotação soja-milho (*Zea mays*) iniciando com soja, sempre utilizando o milheto (*Pennisetum glaucum*) como planta de cobertura de inverno (

O gesso, para suprir o enxofre (S) e corrigir a sub-superfície do solo, foi aplicado anualmente do quarto ao sexto ano na dose de 1 t ha⁻¹, do primeiro ao terceiro ano e no sétimo ano 20 kg ha⁻¹ e no oitavo ano 15 kg ha⁻¹, ambos na forma de gesso agrícola (15% de S).

Tabela 2). Os espaçamentos entre linhas adotados foram de 0,45 m, 0,75 m e 0,20 m, respectivamente para soja, milho e milheto.

Para garantir o suprimento de nitrogênio (N) às culturas, as sementes de soja foram inoculadas e para o milho foram adicionados 30 kg ha⁻¹ no sulco de semeadura e duas coberturas de 60 kg ha⁻¹ na forma de uréia, sendo a primeira do estágio V4 e a segunda no V8. Para o milheto não foi adicionado fertilizante.

Tabela 1. Análise química e granulométrica do solo antes da instalação do experimento, na camada de 0 a 20 cm.

pH _{H2O}	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺ +Al ³⁺	CTC	K _{Mehlich I}	P _{Mehlich I}
----- cmol _c dm ⁻³ -----							mg dm ⁻³
4,5	1,4	0,2	0,2	8,1	8,6	0,1	1,2
Carbono orgânico	V	Argila	Silte	Areia grossa	Areia fina		
-----g kg ⁻¹ -----		----- g kg ⁻¹ -----					
16,2	5,6	540	50	120	290		

Metodologia: Embrapa (2007).

O gesso, para suprir o enxofre (S) e corrigir a sub-superfície do solo, foi aplicado anualmente do quarto ao sexto ano na dose de 1 t ha⁻¹, do primeiro ao terceiro ano e no sétimo ano 20 kg ha⁻¹ e no oitavo ano 15 kg ha⁻¹, ambos na forma de gesso agrícola (15% de S).

Tabela 2. Histórico de uso da área e momento da amostragem.

Cultivo (ano)	Planta de cobertura	Cultura principal
1 (2000)	Mucuna preta	Soja
2 (2001)	Milheto	Soja
3 (2002)	Milheto	Soja
4 (2003)	Milheto	Milho
5 (2004)	Milheto	Soja
6 (2005)	Milheto	Milho
7 (2006)	Milheto	Soja
8 (2007)	Milheto	Milho*

*Amostragem realizada após a colheita do milho em junho de 2007.

As parcelas experimentais foram instaladas com dimensões 11 m x 4,5 m e foram distribuídas formando um delineamento em blocos casualizados com três repetições (Figura 2). Os tratamentos selecionados para a realização deste trabalho foram: duas fontes de adubação fosfatada, dois modos de aplicação do fertilizante fosfatado e um tratamento testemunha, assim descritos: condição natural de P no solo (sem adição de adubos fosfatados - testemunha), superfosfato triplo aplicado no sulco de semeadura, superfosfato triplo aplicado a lanço, fosfato natural reativo aplicado no sulco de semeadura e fosfato natural reativo aplicado a lanço, todos na dose de 80 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P₂O₅, sem qualquer ação de adubação fosfatada corretiva ao solo.

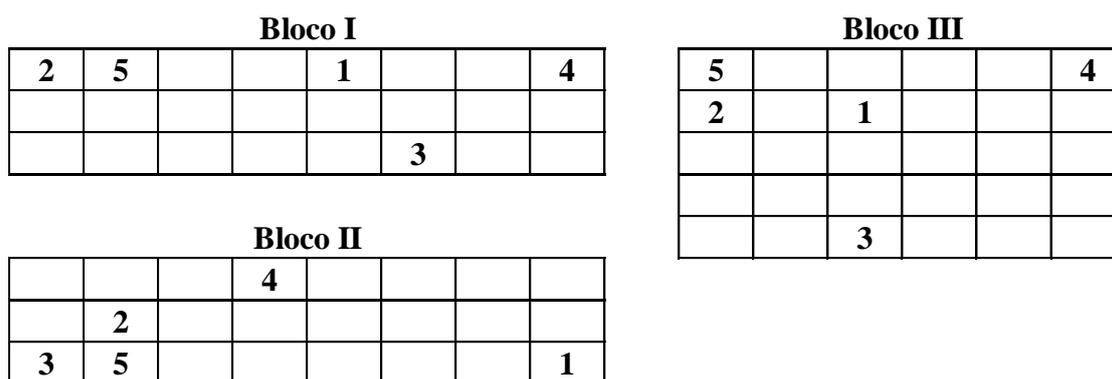


Figura 2. Desenho experimental, destacando a localização das parcelas para os tratamentos selecionados neste trabalho. (1) testemunha; (2) superfosfato triplo aplicado a lanço; (3) superfosfato triplo aplicado no sulco de semeadura; (4) fosfato natural reativo aplicado a lanço; (5) fosfato natural reativo aplicado no sulco de semeadura.

Por ocasião do plantio, nos tratamentos em que o fertilizante era aplicado no sulco de semeadura, estes foram abertos utilizando semeadora de plantio direto sem os carrinhos que fecham o sulco, sendo o fertilizante fosfatado distribuído com máquina de adubação de parcelas. Após a cobertura do fertilizante fosfatado com um pouco de terra, as sementes foram colocadas manualmente (milho) ou com auxílio de semeadora de parcelas (soja) no mesmo sulco. No caso dos tratamentos com aplicação do fertilizante a lanço, a semeadura foi feita no sulco e após o fechamento do sulco, funcionários rurais treinados distribuíam manualmente os fertilizantes fosfatados por toda a superfície da parcela, de forma homogênea. Na ocasião do plantio de milheto, foi utilizada semeadora tratorizada de plantio direto e, nesta etapa, não foram utilizados fertilizantes.

Para a condução do experimento as áreas foram submetidas à irrigação suplementar (aspersão convencional) apenas quando apresentava período de estiaem (veranico). Para estes casos a irrigação era acionada quando os tensiômetros acusavam leituras a partir de 45 cbar (à profundidade de 20 cm).

2.2 Amostragem do solo

A amostragem do solo foi realizada logo após a colheita do milho no oitavo ano de cultivo (junho de 2007) do experimento. Para a avaliação da distribuição dos teores de CO e fósforo inorgânico (Pi) foi adotada a amostragem do solo conforme descrito por Santos (2009), em cada amostragem foi retirado um conjunto de 35 amostras de solo assim distribuídas: sete pontos dispostos perpendicularmente à linha de plantio do milho (colunas de amostragem), eqüidistantes em 12,5 cm, em cinco camadas nas profundidades: 0 - 2,5 cm; 2,5 - 5 cm; 5 - 10 cm; 10 - 20 cm e 20 - 30 cm (Figura 2 e Figura 3).

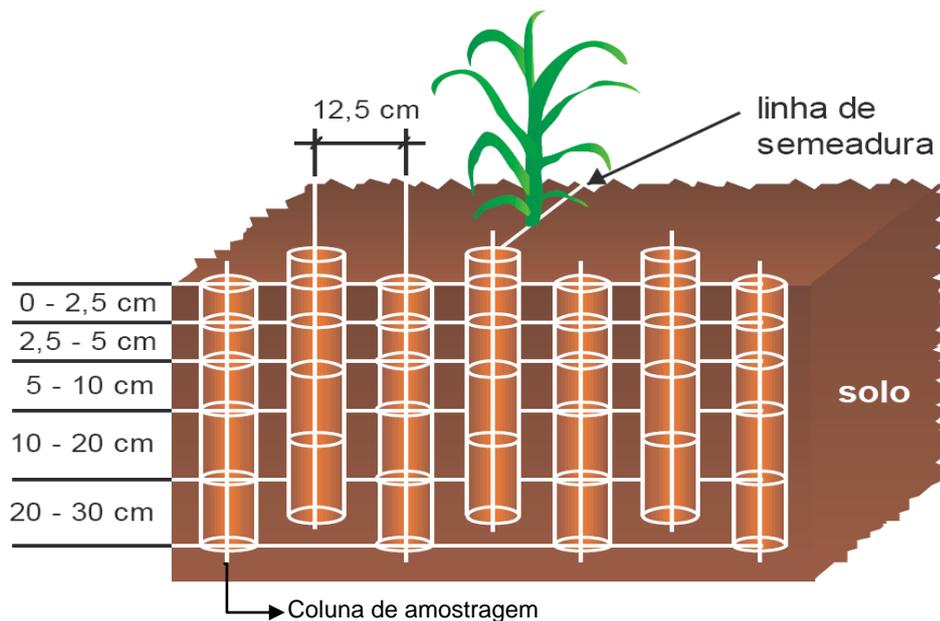


Figura 3. Esquema de amostragem.
Fonte: Santos (2009).

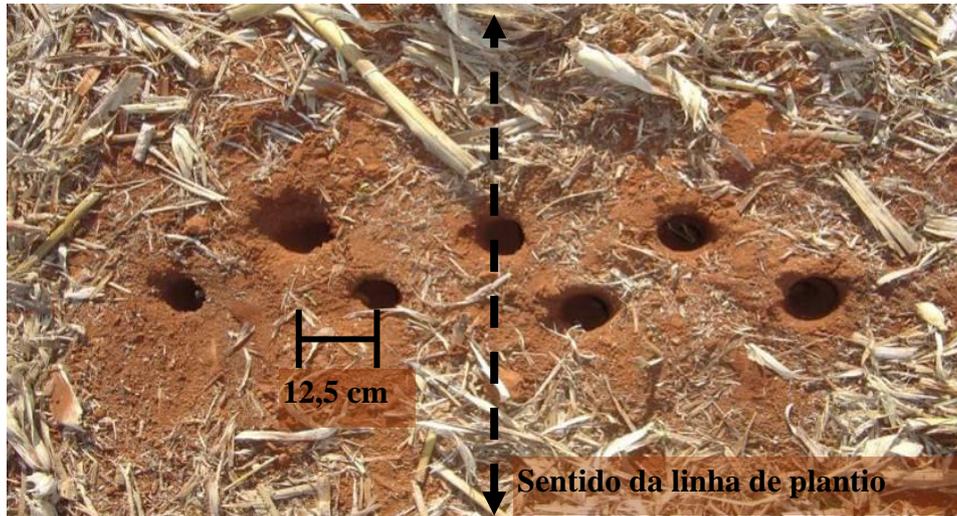


Figura 4. Foto da amostragem de solo.

Para a amostragem do solo, as três camadas mais superficiais foram retiradas utilizando trado de anel (trado para amostras indeformadas) e para as demais profundidades, foi utilizado o trado holandês.

Em cada parcela foi realizada uma amostra composta por seis amostras simples, realizadas nas linhas centrais de cada parcela (área útil). Para cada tratamento avaliado estão instaladas três repetições, uma em cada bloco (Figura 2).

2.3 Procedimentos analíticos

As amostras de solo foram secadas ao ar e à sombra e depois de maceradas, passadas em peneira com aberturas de 1 mm para a determinação dos teores de CO e Pi.

2.3.1 Determinação do carbono orgânico

Para a determinação do CO do solo utilizou-se a leitura do carbono no solo pelo método do ácido crômico, que inclui diluição em ácido sulfúrico, mais conhecido como método Walkley-Black (Jackson, 1970). À uma alíquota de 0,5 g de solo, são adicionados 10 mL de solução dicromato de potássio (0,5M) que, após submetida à aquecimento instantâneo com a adição de 20 mL de ácido sulfúrico concentrado, e descanso de 30 minutos, recebe 200 mL de água destilada e logo após é titulada com sulfato ferroso amoniacal (1M) para a determinação do valor de C na amostra. Este procedimento foi realizado para obter o resultado das 525 amostras.

2.3.2 Determinação do fósforo inorgânico.

A determinação do conteúdo de Pi do solo foi feita pela avaliação a partir do método de proposto por Saunders & Williams em 1955 (Kuo, 1996).

A extração de Pi inicia-se com a adição de 50 mL de H_2SO_4 0,5 mol L^{-1} em 2 g de solo e posterior agitação por 16 h na proporção solo-solução 1:25. Para a determinação do Pi, a solução é filtrada com papel filtro quantitativo JP42 Faixa azul. 2 mL deste filtrado são reunidos à água destilada (10 mL), solução indicadora p-nitrofenol a 1% (1 mL), NaOH 1M (2 mL) e 10 mL de solução mista (por amostra: 2 mL de H_2SO_4 2,5 M; 0,024 mg de Molibdato de amônio, 21,12 mg de ácido ascórbico; 0,5456 mg de antimônio tartarato de potássio + água destilada até completar o volume aos 10 mL). Após aguardar 15 minutos as amostras indicam coloração azul.

A leitura dos teores de Pi foi realizada por espectrofotometria a 880 nm utilizando como referencial curvas de calibração desenvolvida com soluções padronizadas com zero; 62,5; 125; 187,5; 250 e 321,5 ppm de P. Sempre que os valores das leituras excediam o valor mais alto da curva de calibração (312,15 ppm) as amostras eram diluídas a partir do filtrado, com H_2SO_4 0,5M até que sua leitura se adequasse à faixa de leitura adequada ao erro instrumental e seu resultado multiplicado pelo fator de diluição para obtenção do teor da amostra.

2.3.3 Análise estatística

Por tratar-se de um experimento em blocos ao acaso, um modelo foi proposto para avaliar as diferenças estatísticas dos teores de CO entre os tratamentos com adição de fosfatos e a testemunha. Este modelo considera como efeitos aleatórios o bloco (b_j), bloco x tratamento ($(tb)_{ij}$), o bloco x profundidade em cada tratamento ($(bp)_{jk}(t_i)$) e o erro (ϵ_{ijkm}). Como efeitos fixos estão a média da população (μ), o tratamento (t_i), a profundidade (p_k) o tratamento x profundidade ($(tp)_{ik}$), horizontalidade (h_m), tratamento x horizontalidade ($(th)_{im}$), profundidade x horizontalidade ($(ph)_{km}$) e tratamento x profundidade x horizontalidade ($(tph)_{ikm}$).

$$y_{ijkm} = \mu + t_i + b_j + (tb)_{ij} + p_k + (tp)_{ik} + (bp)_{jk}(t_i) + h_m + (th)_{im} + (ph)_{km} + (tph)_{ikm} + \epsilon_{ijkm}$$

Para o efeito simples das interações, os dados foram submetidos à análise estatística pelo método da construção da ANOVA e para avaliar sua significância, foram submetidos à verificação pelo teste de média utilizando a metodologia Tukey - Kramer a 5% de probabilidade, com auxílio do pacote estatístico SAS.

A relação entre os teores de Pi e Co foi submetida a testes de ajuste de modelos, utilizando como auxílio o pacote estatístico SAS. Para ajustar o modelo quadrático-platô foi utilizado o método de interação de Gauss-Newton aplicado através do procedimento não linear (Proc NLin) do SAS (Resende et al., 2007).

2.3.4 Interpolação dos dados

Para a obtenção das figuras de distribuição do carbono orgânico e do fósforo inorgânico no solo, os dados foram submetidos à interpolação pelo método da krigagem ordinária. Esta metodologia permite estimar os valores no intervalo de espaço entre as amostras avaliadas, estimando uma média ponderada com dependência espacial entre os valores obtido a partir das amostras coletada.

A interpolação foi executada com auxílio do programa Surfer® - Golden software, Inc (versão 8.05), e seus limites de interpolação estendidos à distância máxima de 37,5 cm à direita e à esquerda da linha de plantio para abranger a área de estudo perpendicular à linha de plantio. No sentido vertical, a interpolação foi estendida da superfície até 30 cm de profundidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de carbono orgânico (CO), referentes aos 525 dados obtidos, foram submetidos à análise de variância, onde foram constatados como significantes os efeitos simples (tratamento, distribuição horizontal e distribuição vertical) e os efeitos de interações duplas (tratamento Vs. distribuição vertical, tratamento Vs. distribuição horizontal e distribuição vertical Vs. distribuição horizontal). A interação tripla para estes dados não foi significativa (Tabela 3).

Tabela 3. Análise de variância para o carbono orgânico do solo, relacionando os cinco tratamentos, cinco profundidades, sete distâncias em relação à linha de plantio e suas possíveis interações.

Fonte de Variação	GL	F Valor	Pr > F*
Tratamentos	4	11,78	0,002
Distribuição vertical (camadas)	4	625,61	< 0,0001
Distribuição horizontal	6	11,58	< 0,0001
Tratamentos Vs.distribuição vertical	16	26,45	< 0,0001
Tratamento Vs.distribuição horizontal	24	1,92	0,0069
Distribuição vertical Vs.dist. horizontal	24	4,04	< 0,0001
Tratamentos Vs.dist. vertical Vs.dist. horizontal	96	0,85	0,8276

*Probabilidade de F valor < F tabelado.

Entre as fontes de variação avaliadas, a mais significativa em relação aos teores de CO do solo foi o efeito da distribuição vertical entre as camadas (0 a 2,5 cm; 2,5 a 5 cm; 5 a 10 cm; 10 a 20 cm e 20 a 30 cm), de modo que, quanto mais profunda estiver a camada avaliada, menor será o teor de CO.

Ao avaliar o efeito das interações duplas, o efeito mais pronunciado foi o efeito da distribuição vertical (entre as camadas) Vs. tratamentos, de modo que este efeito da distribuição do CO no sentido vertical é diferente se comparados os tratamentos avaliados.

Segundo classificação de Sousa & Lobato (2004a), no início do experimento, o solo apresentava teor médio de matéria orgânica (classificação para solos com textura argilosa). Os valores referentes a este experimento (0 - 20 cm) foram alterados após sucessivos cultivos.

Ao comparar o teor de CO (Tabela 1) na condição inicial do experimento (16,0 g kg⁻¹) com a média ponderada dos tratamentos que receberam fertilizantes fosfatados, na camada de 0 a 20 cm após oito anos de cultivo (Tabela 9) sob plantio direto (15,25 g kg⁻¹) percebe-se que o solo apresenta teor de CO um pouco inferior em relação à sua condição inicial, mesmo assim este teor observado foi 23,8% superior ao encontrado no do tratamento testemunha, sem qualquer adição de adubo fosfatado (12,31 g kg⁻¹).

Ao implantar as culturas agrícolas em uma determinada área ocorre uma redução nos teores de CO no solo, já que as operações mecanizadas, necessárias no início do estabelecimento da área para uso agrícola, promovem o revolvimento do solo, desestabilizando a matéria orgânica, tornando-a susceptível à ação microbiana, consumindo e liberando C para a atmosfera. Espera-se, porém, que o manejo adequado do solo permita que ele recupere sua capacidade em acumular C, assemelhando-se ou ultrapassando sua condição inicial.

Ao fazer uma análise temporal dos estoques de CO na camada de 0-10 cm de um Argissolo Vermelho distrófico arênico sob diferentes sistemas de cultura e em campo natural, Amado et al. (2001) verificaram que os teores de CO no solo voltaram a aproximar-se da condição inicial somente a partir do quarto ao oitavo ano de cultivo, pois a partir deste período foi observado um aumento das taxas de acúmulo de C em diferentes sistemas de plantio (plantio direto e cultivo convencional), com a utilização de diferentes plantas de cobertura.

Embora a interação tripla (Tratamentos Vs.dist. vertical Vs.dist. horizontal) não tenha se mostrado estatisticamente significativa ao teste Tukey-Kramer 5%, os dados serão apresentados adiante, de forma a demonstrar a distribuição horizontal e vertical do CO e Pi no solo em cada tratamento, com auxílio da ferramenta de interpolação, formando figuras que auxiliam na visualização geral dos dados coletados neste trabalho.

3.1 Efeitos simples

3.1.1 Efeito dos tratamentos

O efeito dos tratamentos sobre o teor de CO do solo foi identificado como significativo. Ao fazer um estudo entre os tratamentos, observou-se as parcelas com adubação fosfatada, independentemente da fonte (superfosfato triplo ou fosfato

natural reativo) e do modo de aplicação (lanço ou no sulco de semeadura) foram semelhantes entre si em relação ao teor de CO no solo (Tabela 4) e diferentes em relação ao tratamento testemunha (sem adição de adubos fosfatados).

Este efeito pode ser atribuído às maiores quantidades de biomassa aportadas pelas culturas nos tratamentos com adubação fosfatada, uma vez que não sofreram limitações na fertilidade do solo que impedissem seu desenvolvimento.

Uma das formas de identificar o desenvolvimento das culturas pode ser comparando o rendimento de grãos entre os tratamentos avaliados. O rendimento médio acumulado de grãos nos 5 cultivos de soja e 3 cultivos de milho nos tratamentos com P foi de 38,54 t ha⁻¹ (Tabela 5) enquanto que para a testemunha o rendimento total acumulado foi inferior a 4 t ha⁻¹. Isso sem considerar a contribuição de biomassa por parte das plantas de cobertura utilizadas (mucuna e milheto).

Em experimento avaliando estoque de C, N e o rendimento da cultura do milho, Leite et al. (2009) identificaram que o aporte de CO no solo (quantificado pela mesma metodologia) apresenta tendência similar à produtividade de grãos em plantio direto no sudeste do Piauí.

Tabela 4. Teores de carbono orgânico do solo, independente da distribuição vertical e horizontal avaliada até 30 cm de profundidade, nos diferentes tratamentos.

Tratamentos	CO g kg ^{-1*}
Superfosfato triplo (lanço)	15,49 A
Superfosfato triplo (sulco)	15,97 A
Fosfato natural reativo (lanço)	15,59 A
Fosfato natural reativo (sulco)	15,83 A
Testemunha (sem adição de fosfatos)	12,28 B

*Médias seguidas de letras iguais maiúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey - Kramer a 5% de probabilidade

A relação entre o P no solo e a biomassa aportada pelas culturas é amplamente estudada e reconhecida em experimentos com diversos tipos de culturas e normalmente relacionadas aos índices de produtividade (Goedert et al., 1986; Sousa & Lobato, 2004b). Sousa & Lobato (2004b) relataram que a generalização da deficiência de P no Cerrado é caracterizada pela frequência de resposta ao P, visível até em culturas menos exigentes como mandioca e braquiária, que apresentam bom potencial de resposta com adubação fosfatada. Esta

transformação em biomassa possibilita maior acúmulo de matéria orgânica na superfície do solo, principalmente em se tratando de culturas anuais.

Em SPD, Souza et al. (2010) identificaram que o teor de matéria orgânica aumenta principalmente nas camadas mais superficiais, local onde o fertilizante fosfatado está concentrado, pois nesta região a disponibilidade de fósforo é maior, facilitando o crescimento e desenvolvimento das raízes, principal fonte de matéria orgânica em profundidade.

Tabela 5. Rendimento total acumulado de grãos ao longo de oito cultivos (5 cultivos de soja e 3 cultivos de milho) por tratamento.

Tratamento	Rendimento acumulado de grãos Mg ha ⁻¹ *		
	Em 5 cultivos de soja	Em 3 cultivos de milho	Total em 8 anos
Superfosfato triplo (lanço)	14,41	29,58	43,99 a
Superfosfato triplo (sulco)	13,60	29,19	42,79 a
Fosfato natural reativo (lanço)	8,94	23,96	32,90 b
Fosfato natural reativo (sulco)	9,47	24,99	34,46 b
Testemunha (sem fosfatos)	1,44	2,30	3,74 c

* Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo Teste de Student (P<0,05).

Ao comparar os valores médios de CO dos tratamentos com P com o tratamento testemunha (0 - 30 cm), observa-se que a adição de P proporcionou um acúmulo de CO do solo na ordem de 28% (Tabela 4), ou seja, até 30 cm de profundidade, mais de 10 t ha⁻¹ de CO acumulado no solo, evitando sua liberação para a atmosfera na forma de gases estufa.

Esta relação entre a biomassa e a quantidade de CO acumulado no solo também foi identificada em trabalhos de Lovato et al. (2004), Gonçalves & Ceretta (1999) e Costa et al. (2008), o que reforça a necessidade de manter elevado aporte de resíduos vegetais, mesmo em sistemas conservacionistas como o SPD.

Segundo Silva & Mendonça (2007), além do aporte de resíduos na superfície, a baixa disponibilidade de P também limita a atividade microbiana, o que é particularmente importante na decomposição de resíduos e ciclagem da matéria orgânica do solo, principalmente nas camadas mais superficiais.

Observa-se que não houve diferença estatística entre os teores de CO no solo para os tratamentos adubados com fósforo, contudo o rendimento acumulado de grão entre os tratamentos com fosfato natural reativo foram inferiores aos tratamentos com superfosfato triplo, isto deve ter ocorrido pela baixa disponibilidade do fosfato natural reativo que pode ter direcionado um maior crescimento de raízes, aumentando o teor de CO no solo pela contribuição do sistema radicular e não apenas pela biomassa aérea, já que Lambers et al. (2006) citaram que algumas espécies alocam maior quantidade de biomassa radicular quando a quantidade de fósforo limita seu crescimento.

3.1.2 Efeito da distribuição vertical

Os resultados estatísticos encontrados demonstraram que os valores de CO do solo foram significativamente diferentes entre as camadas avaliadas (Tabela 6).

O acúmulo de CO no solo em profundidade varia sob diversos tipos de manejo adotado e/ou sob condições climáticas diferentes. Jobbágy & Jackson (2000) identificaram este comportamento em solos com condições naturais e em diferentes usos em um banco de dados com mais de 2.700 amostras estudadas em biomas de todo o mundo e, para as condições tropicais estabelecidas sob savana, aproximadamente de 36% do CO do solo (até 1 m de profundidade) estão concentrados nos 20 cm superficiais.

Observou-se maior acúmulo de CO na camada superficial do solo (0 - 2,5 cm), sendo este teor 13 a 62% superior, em relação às camadas mais profundas (Tabela 6), este acréscimo na camada superficial em relação às camadas subsuperficiais foi bem inferior ao avaliado por Gonçalves & Ceretta (1999) que encontraram nos 2,5 cm superiores em plantio direto, acréscimo de 36 a 75% em relação às camadas subjacentes. Deve ser considerado também que as camadas superficiais recebem maiores aportes de material orgânico, mas também estão mais susceptíveis a oxidação, facilitando as perdas de C para a atmosfera (Corazza et al., 1999).

Vários fatores podem estar relacionados à alteração dos teores de CO em profundidade, entre eles pode-se citar: (1) o acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo, (2) o crescimento das raízes, (3) o transporte de resíduos culturais pela fauna edáfica, (4) o pequeno movimento do solo durante a formação

do sulco de semeadura e/ou a adubação no sulco de semeadura (quando for o caso), (5) a exsudação de ácidos orgânicos pela raiz das culturas instaladas, (6) a lixiviação de compostos orgânicos, principalmente pela ação da água, e até mesmo pela (7) possível contaminação entre as camadas durante a retirada das amostras de solo.

Tabela 6. Teores médios de carbono orgânico do solo, independente do tratamento e distribuição horizontal avaliada até 30 cm de profundidade, das diferentes camadas de solo.

Profundidade das camadas (cm)	CO (g kg⁻¹)*
0 – 2,5	19,01 A
2,5 – 5	16,79 B
5 – 10	14,40 C
10 – 20	13,18 D
20 – 30	11,77 E

*Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey - Kramer a 5% de probabilidade.

O aporte de material orgânico depositado na superfície pelas culturas instaladas influencia no conteúdo de CO do solo, pois os resíduos vegetais constituem-se fundamentalmente de restos de culturas remanescentes dos cultivos anteriores localizados na superfície do solo (Bayer, 1992), e sua quantidade sobre o solo pode ser considerada como uma síntese das adições ou perdas ocorridas (Pavinato, 1993) nos oito anos de cultivo desse trabalho, tal qual foi observado em outros trabalhos (Gonçalves & Ceretta, 1999 e Amado et al., 2001).

A distribuição vertical do CO deve-se principalmente ao efeito da deposição dos resíduos culturais sobre o solo e na concentração de raízes nas camadas mais superficiais do solo. Contudo, mesmo sem restrições de fertilidade do solo e apresentando boa produção acumulada das culturas (Tabela 5), após oito anos de cultivo, as parcelas que receberam adubação fosfatada ainda apresentam teor de CO inferior ao início do experimento. Para o tratamento testemunha, a falta de adubos fosfatados afetou negativamente o conteúdo de CO já que a baixa concentração de P no solo foi observada como limitante à produção vegetal neste experimento, conseqüentemente diminuindo o aporte de biomassa no solo.

Ao considerar a média do rendimento de grãos acumulado nos 8 anos de cultivo (Tabela 5) os tratamentos que receberam adubação fosfatada, mais de 38 toneladas de matéria seca foram depositadas na forma de resíduos vegetais (considerando um índice médio de colheita da 50% para ambas as culturas) sem contar a contribuição das plantas de cobertura (mucuna preta e milheto) cultivadas no inverno.

Este tipo de distribuição, acentuando os teores de CO nas camadas mais superficiais do solo, depende diretamente do sistema de plantio, das culturas a campo, da produção de biomassa aérea e radicular das espécies utilizadas e dos seus espaçamentos de plantio (Rangel et al., 2008).

Além do aporte de material orgânico da parte aérea em superfície deve-se considerar a contribuição das raízes, pois em torno de 30-60% do C fixado pela fotossíntese é translocado às raízes liberando na rizosfera grandes quantidades de C adicionado em profundidade pela exsudação de compostos orgânicos e deposição de tecidos mortos (Silva & Mendonça, 2007).

Acredita-se que parte deste CO seja oriunda do crescimento e expansão das raízes das culturas instaladas, principalmente pelo milho, última cultura antes da data da amostragem do solo. Esta observação é importante, pois, segundo Allmaras et al. (2004), culturas anuais, como o milho, podem contribuir mais com o C no solo por parte das raízes, que sua parte aérea.

Deste modo, há um forte indício de que as raízes tenham contribuído com teores de CO no solo principalmente a partir da camada de 2,5 até os 10 cm de profundidade, pois Bordin et al. (2008) verificaram que 62% e 47% do CO proveniente das raízes de soja e milho, respectivamente, concentram-se nos 10 cm superficiais em plantio direto (CO avaliado até 1 metro de profundidade). Estes autores confirmaram também que o aporte de C pelas raízes, no SPD e SCC e nas duas espécies, diminuiu até 30 cm de profundidade, estabilizando-se nas camadas mais profundas, concordando com os resultados encontrados. Já Mello Ivo & Mielniczuk (1999) identificaram que a densidade de comprimento em raízes de milho no SPD é superior na camada superficial (até 5 cm) e permanece constante de 10 a 35 cm de profundidade.

3.1.3 Efeito da distribuição horizontal

Os resultados obtidos (Tabela 3 e Tabela 7) revelaram que há diferença estatística entre os teores de CO entre os diferentes pontos de amostragem perpendicularmente à linha de plantio. As distâncias entre as colunas de amostragem em cada seção distanciam-se apenas 12,5 cm (Figura 3). Este modo de amostragem não é comum em trabalhos experimentais, principalmente nos experimentos conduzidos a campo.

Percebe-se um acúmulo de CO mais acentuado na região da linha de plantio que na região da entrelinha, independente da profundidade ou tratamento. De modo geral os teores de CO são menores à medida que a amostragem aproxima-se da entrelinha (Tabela 7).

Os resultados confirmam a relevância das raízes no aporte de CO no solo, pois este comportamento é semelhante à distribuição das raízes observada por Costa et al. (2009) que demonstraram maior densidade de raízes do milho até 5 cm de distância da linha de plantio, observado também em Leite et al. (2006) mesmo sob condições químicas adversas.

Tabela 7. Teores médios de carbono orgânico no solo (g kg^{-1}), independente do tratamento e distribuição vertical avaliada até 30 cm de profundidade, distribuídas perpendicularmente em relação à linha de plantio (distribuição horizontal).

	Distância em relação à linha de plantio (cm)*						
	-37,5	-25,0	-12,5	0	12,5	25,0	37,5
CO g kg^{-1}	14,9 c	14,9 c	14,9 bc	15,6 a	15,1 b	14,9 c	15,0 bc

*Médias seguidas de letras diferentes, diferem entre si pelo teste de Tukey - Kramer a 5% de probabilidade.

Quando observada a distribuição horizontal do CO no solo sob diferentes condições de plantio (SPD, SCC com utilização de grade e SCC com a utilização de arado) em experimento de longa duração, Duiker & Beegle (2006) não encontraram comportamento semelhante nem qualquer significância estatística para as distâncias da linha de plantio estudadas (11 colunas de amostragem, distanciadas 7,6 cm cada uma e uma distância de 76 cm entre plantas de milho).

Trabalhos que demonstram distribuição horizontal de atributos físicos, químicos ou biológicos geralmente mostram esta distribuição em superfície (também usualmente chamada de distribuição espacial), usando ferramentas de

geoestatística e interpolação de dados na superfície do solo, tal como os estudos feitos em agricultura de precisão (Viana et al., 2005; Lima et al, 2008).

A avaliação da distribuição horizontal perpendicularmente à linha de plantio avaliando matéria orgânica, nutrientes ou raízes na linha e na entrelinha, é mais estudada em pomares silvícolas e frutícolas (Motta et al., 2006; Leonel & Damatto Jr, 2007 e Faria et al., 2008). Para culturas anuais a forma mais usual de avaliar a distribuição horizontal é com a utilização de monólitos (Mello Ivo & Mielniczuk, 1999; Vasconcelos et al., 2003; Leite et al., 2006 e Costa et al., 2008), bastante utilizados para verificação de crescimento de raízes.

3.2 Interações duplas

3.2.1 Distribuição vertical Vs. horizontal

Os resultados estatísticos revelaram interação significativa entre a distribuição vertical e horizontal do CO do solo (Tabela 3). Na Tabela 8 percebe-se que até à profundidade de 10 cm, a região da linha de plantio apresenta os maiores teores de CO. A partir desta profundidade não é observada influência da distribuição horizontal nos teores de CO do solo.

Quando avaliados os teores de CO do solo independente dos tratamentos, percebe-se que os teores de CO no solo são significativamente diferentes em todas as camadas avaliadas (profundidade) em qualquer posição da distribuição horizontal (perpendicularmente à linha de plantio), de modo que cada camada subjacente apresenta teor inferior de CO.

Embora as camadas mais superficiais contenham maiores teores de CO, é entre as camadas de 2,5 a 5 cm e 5 a 10 cm que ocorre a maior diferença entre os teores de CO no solo. Na linha de plantio esta redução de CO entre as camadas chega 21%, o que deve estar relacionado ao crescimento e desenvolvimento das raízes de milho (Tabela 8).

Nas duas camadas mais profundas do solo não foi identificado qualquer efeito da distribuição horizontal, porém apresenta diferença do teor de CO entre as camadas (Tabela 8). Como neste trabalho não foi avaliado a presença de raízes no solo, esperava-se que as raízes influenciassem a distribuição horizontal até as

camadas mais profundas, já que Leite et al. (2006) identificaram raízes de milho até 45 cm de profundidade.

Tabela 8. Teores médios de carbono orgânico do solo em relação à distribuição vertical (camadas em profundidade) e horizontal (perpendicularmente à linha de plantio) independente dos tratamentos avaliados.

Profundidade das camadas (cm)	Distância da linha de plantio (cm)						
	-37,5	-25	-12,5	0	12,5	25	37,5
	----- Carbono orgânico (g kg ⁻¹) -----						
0-2,5	18,6 Ab	18,8 Ab	18,7 Ab	20,1 Aa	18,9 Ab	18,8 Ab	19,2 Ab
2,5-5	16,5 Bc	16,3 Bc	16,7 Bbc	18,1 Ba	17,1 Bb	16,4 Bc	16,5 Bc
5-10	14,3 Cb	14,1 Cb	14,3 Cb	15,0 Ca	14,5 Cb	14,3 Cb	14,5 Cb
10-20	13,3 Da	13,3 Da	13,1 Da	13,1 Da	13,2 Da	13,1 Da	13,2 Da
20-30	11,9 Ea	11,8 Ea	11,6 Ea	11,6 Ea	11,8 Ea	11,9 Ea	11,8 Ea

*Médias seguidas de letras iguais maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3.2.2 Tratamento Vs. distribuição vertical

Para as interações duplas foi identificada interação entre os tratamentos e a distribuição vertical (Tabela 3), de modo que, os teores de CO no solo decresceram das camadas mais superficiais para as camadas mais profundas de forma diferenciada entre os tratamentos que receberam P e a testemunha.

Entre os tratamentos com adição de P houve diferença de comportamento apenas na camada de 10 a 20 cm do solo, mesmo assim todos os tratamentos com adição de P, demonstraram diferença estatística entre todas as camadas avaliadas, o que evidencia a importância do P na contribuição do CO em profundidade (Tabela 9 e Figura 5).

O tratamento testemunha apresentou um modo de distribuição vertical diferenciado, pois até a profundidade de 10 cm não houve diferença estatística entre as camadas, apresentando, nesta faixa de avaliação, um teor médio de 12,6 g kg⁻¹ de CO (Tabela 9), muito inferior à média dos demais tratamentos que na mesma camada apresentou teor médio de 17,04 g kg⁻¹ (média ponderada).

Nos tratamentos com adição de adubos fosfatados, os teores de CO do solo foram significativamente diferentes para cada camada avaliada, por isso nota-se que a presença de P foi determinante para modificar a distribuição vertical do CO do solo

(Figura 5). Os maiores teores de CO foram encontrados na camada superficial (0 a 2,5 cm) nas parcelas com adição de adubos fosfatados cujos teores de CO foram 58% maior em relação à testemunha. Esta diferença entre os teores de CO das parcelas adubadas e sem adubação diminui à medida que a profundidade aumenta.

Tabela 9. Teores médios de carbono orgânico do solo independente da distribuição horizontal, avaliada até 30 cm de profundidade, no sentido vertical (profundidade) para cada tratamento e suas interações.

Profundidade das camadas (cm)	Tratamentos*									
	Superfosfato triplo		Fosfato natural reativo				Testemunha (Sem fósforo)			
	Lanço		Sulco		Lanço		Sulco			
	----- Carbono orgânico (g kg ⁻¹) -----									
0 – 2,5	21,13	Aa	21,09	Aa	19,94	Aa	19,90	Aa	12,99	Ab
2,5 – 5	17,69	Ba	18,14	Ba	17,35	Ba	17,95	Ba	12,82	Ab
5 – 10	14,15	Ca	15,17	Ca	14,82	Ca	15,57	Ca	12,31	ABb
10 – 20	12,92	Dab	13,39	Dab	13,59	Da	13,97	Da	12,02	Bb
20 – 30	11,53	Ea	12,05	Ea	12,25	Ea	11,74	Ea	11,27	Ca

*Médias seguidas de letras iguais maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey - Kramer a 5% de probabilidade.

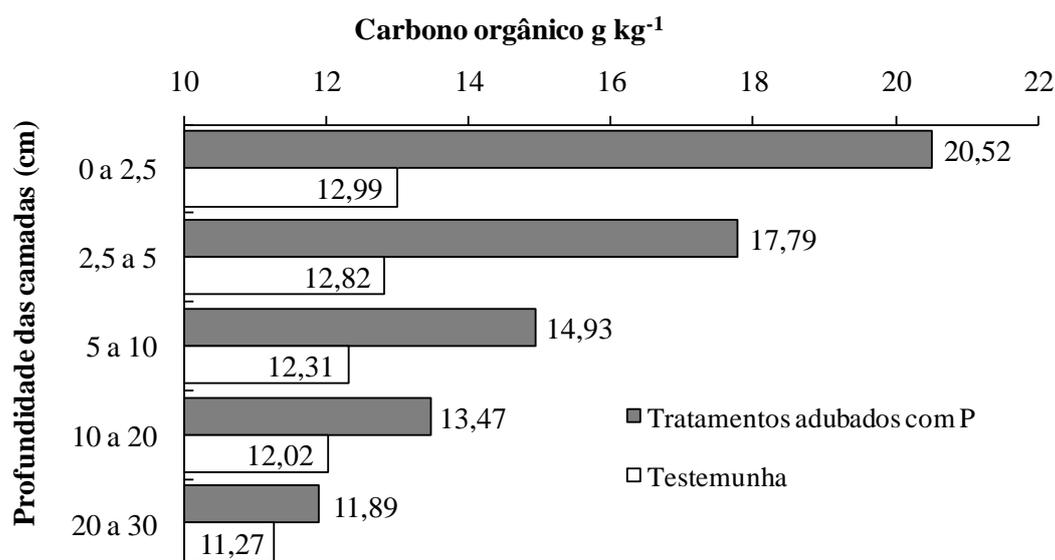


Figura 5. Teores de carbono orgânico (g kg⁻¹) por camada, em tratamentos com ou sem adubo fosfatado, independente de sua distribuição horizontal, modo ou fonte de adubos fosfatados.

Quando comparados os tratamentos com diferentes fontes de adubo fosfatado entre as camadas, nota-se que apenas o superfosfato triplo (nos dois

modos de aplicação) não difere da testemunha na camada de 10 cm a 20 cm (Tabela 9).

Ao observar os teores de CO por fonte de adubo fosfatado, verifica-se uma inversão dos teores de CO ao longo das camadas. Esta mudança de comportamento evidencia a interação da fonte de adubo fosfatado com a distribuição vertical, independente da variabilidade horizontal (Figura 6).

Diferentes fontes de fósforo podem alternar resultados de produtividade para as culturas, dependendo da disponibilidade de P no solo, modo de aplicação, sistema de preparo do solo, dentre outros. Segundo Resende et al. (2006) fontes de maior solubilidade (superfosfato triplo e termofosfato) ocasionaram, nos dois primeiros cultivos, maiores produções do que fosfatos naturais (fosfato de Araxá e fosfato reativo de Arad) que só passaram a apresentaram melhor desempenho a partir do terceiro cultivo.

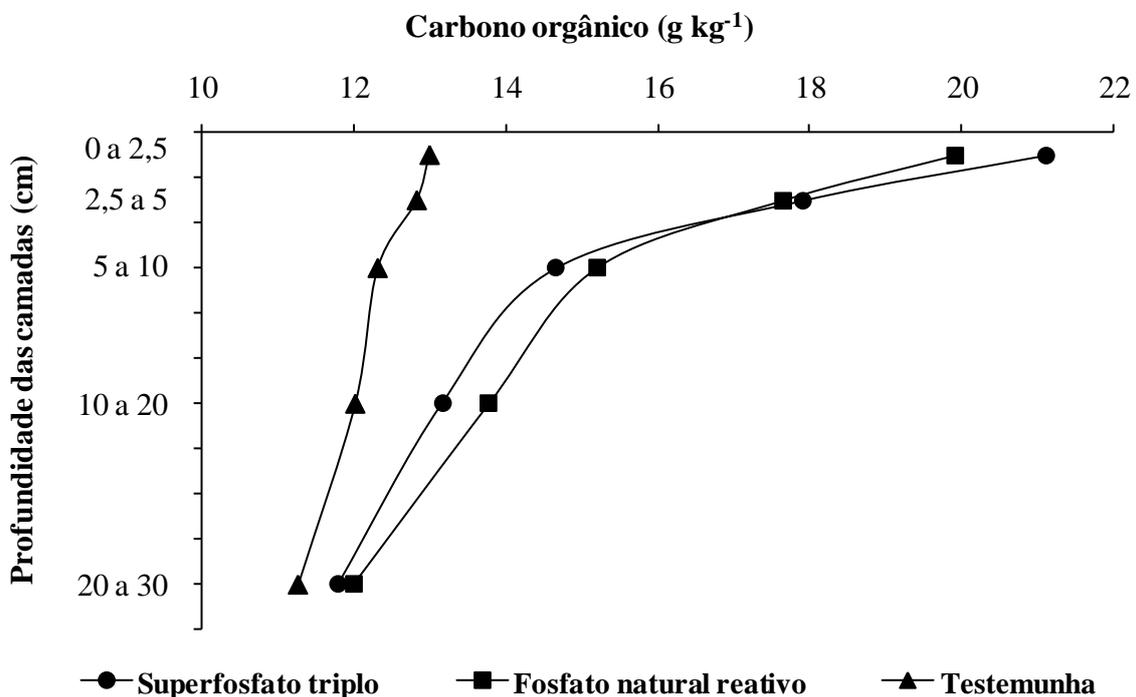


Figura 6. Distribuição vertical do carbono orgânico avaliado até 30 cm de profundidade, para as diferentes fontes de adubos fosfatados e a testemunha, independente da variabilidade horizontal.

Apesar da diferença estatística entre os rendimentos de grãos dos tratamentos com diferentes fontes de adubos fosfatados (Tabela 5), essa lógica de comportamento não se confirmou no acúmulo e distribuição vertical do CO no solo (Tabela 9). Na camada de 10 a 20 cm, os teores de CO dos tratamentos que

receberam fósforo natural reativo foram superiores ao teor da testemunha, enquanto os tratamentos com superfosfato triplo não diferiram do tratamento sem fósforo. Possivelmente este comportamento foi devido à menor solubilidade do fósforo natural reativo no solo, que estimulou as plantas a desenvolverem seu sistema radicular em profundidade, especialmente na camada de 10 a 20 cm, ocasionando maior acúmulo de CO no período de oito anos de cultivo.

Percebe-se de modo geral que, independente da fonte ou do modo de aplicação de adubos fosfatados, a deposição de CO é sempre maior nas camadas superficiais, isto se deve tanto à deposição da biomassa aérea quanto da biomassa radicular das culturas anuais, que se concentram em maior quantidade nas camadas mais superficiais.

De modo geral o comportamento da distribuição do CO no solo com a deposição de matéria orgânica em superfície pode trazer vantagens e desvantagens. Entre as vantagens, podem-se destacar, principalmente o aumento da CTC, disponibilidade de nutrientes e o aumento da atividade microbiana, entre as desvantagens: aumento do risco de incêndios, aumento dos efeitos das geadas (nos estados onde há ocorrência deste fenômeno climático); dificuldades em práticas de colheita (Lourenço, 1998), maior incidência de pragas e, conseqüentemente, maior uso de agrotóxicos, informações apontadas como desvantagens do acúmulo de matéria orgânica na superfície do solo por produtores de soja e milho em Santa Catarina (CEPA, 1999).

3.2.3 Tratamento Vs. distribuição horizontal

Na avaliação da interação dupla entre a variabilidade horizontal e os tratamentos, foi encontrada diferença estatística (Tabela 3), indicando que há relação entre a variação de CO perpendicularmente à linha de plantio (no sentido da linha à entrelinha) e seu comportamento diferenciado para cada tratamento.

Nas parcelas que foram submetidas a tratamentos com adubação fosfatada, observam-se maiores teores de CO na linha de plantio se comparados aos teores nas amostras retiradas na entrelinha (Tabela 10). Este comportamento deve estar relacionado ao crescimento e depósito de raízes, concordando com resultados de Costa et al. (2009) que demonstraram maior densidade de raízes do milho até 5 cm de distância da linha de plantio e até 5 cm de profundidade.

Tabela 10. Teores médios de carbono orgânico (g kg^{-1}) do solo independente da distribuição vertical (profundidade), avaliada perpendicularmente à linha de plantio até 37,5 cm em direção à entrelinha para cada tratamento.

Tratamentos	Distância em relação à linha de plantio (cm)						
	-37,5	-25	-12,5	0	12,5	25	37,5
	----- Carbono orgânico (g kg^{-1}) -----						
Superfosfato triplo (lanço)	15,5 Ab	15,3 Ab	15,3 Ab	16,1 Aa	15,3 Ab	15,4 Ab	15,6 Ab
Superfosfato triplo (sulco)	15,9 Ab	15,7 Ab	15,7 Ab	16,6 Aa	16,1 Ab	15,9 Ab	16,0 Ab
Fosfato natural reativo (lanço)	15,2 Ad	15,1 Ad	15,7 Abc	16,4 Aa	15,9 Aab	15,3 Acd	15,6 Abcd
Fosfato natural reativo (sulco)	15,7 Ab	15,9 Ab	15,5 Ab	16,6 Aa	15,9 Ab	15,6 Ab	15,6 Ab
Testemunha	12,3 Ba	12,3 Ba	12,3 Ba	12,2 Ba	12,3 Ba	12,2 Ba	12,4 Ba

*Médias seguidas de letras iguais maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey - Kramer a 5% de probabilidade.

A distribuição horizontal do CO para os tratamentos com superfosfato triplo não foi alterada com o modo de aplicação do fertilizante (lanço ou sulco). Porém ao avaliar a distribuição horizontal para os tratamentos com fosfato natural reativo percebe-se que, quando aplicado no sulco de semeadura, o CO concentrou-se na linha de plantio do milho, e quando aplicado a lanço em superfície percebe-se que os teores de CO não estavam concentrados, mas melhor distribuídos com leve alteração na entrelinha, portanto, quando se trata do fosfato natural reativo, o modo de aplicação alterou a distribuição horizontal do CO do solo, não concentrando na linha de plantio (Tabela 10).

No tratamento testemunha os teores de CO não diferiram significativamente, apresentando comportamento sem qualquer diferença em relação à distribuição horizontal, além disso, os tratamentos com adubação fosfatada apresentaram diferença estatística significativa se comparados à testemunha, em todos os locais de distribuição horizontal.

Ao observar a distribuição espacial de raízes do milho, Leite et al. (2006) identificaram que o manejo do calcário (aplicado em superfície ou incorporado) alterava a dinâmica de crescimento horizontal das raízes do milho perpendicularmente à linha de plantio, verificando maior quantidade de raízes nos tratamentos com aplicação superficial. Neste tratamento de aplicação de calcário em superfície, as raízes acumulavam-se até a profundidade de 7,5 cm no solo apresentando maior espalhamento superficial das raízes.

Especificamente em relação ao P do solo, o crescimento e desenvolvimento das raízes dependem diretamente da disponibilidade deste nutriente no solo, pois

Mollier & Pellerin (1999) identificaram que a deficiência de P, principalmente, afeta a morfologia das raízes por seu efeito no balanço de C na planta, conseqüentemente afetando o acúmulo de CO ao solo, tanto em profundidade como em incremento lateral de raízes, relacionando-as com a distribuição horizontal.

Quanto à distribuição superficial dos restos culturais das culturas, não é possível identificar se houve alguma deposição de material na região da entrelinha especificamente nos locais de amostragem, pois estes resíduos culturais são distribuídos de forma homogênea em cada parcela após a colheita.

3.3 Relação entre o fósforo inorgânico e carbono orgânico no solo

A apresentação geral da distribuição vertical e horizontal encontrados em cada tratamento pode ser visualizada na Figura 7. Nela é possível observar que os tratamentos adubados com fosfato natural reativo apresentaram maior variabilidade na distribuição horizontal dos teores de CO na camada superficial, além disso, todos os tratamentos adubados com P apresentaram nítida diferença no estoque, na distribuição horizontal e na distribuição vertical de CO em relação ao tratamento testemunha.

Ao contextualizar as faixas dos teores de CO com a interpretação de Sousa & Lobato (2004a) para solos argilosos tem-se que os valores correspondentes às categorias < 10 e 12 g kg^{-1} são considerados baixos teores de CO, as faixas de 14 e 16 g kg^{-1} são consideradas médias e os teores iguais ou maiores que 18 g kg^{-1} são considerados adequados. O volume de solo ocupado com CO considerado baixo é de 100% no tratamento sem adubação de fósforo, para os tratamentos com superfosfato triplo é de 71 e 66% respectivamente a lanço e no sulco, enquanto que, nos tratamentos administrados com fosfato natural reativo, este volume fica em 61 e 52% para aplicado a lanço e no sulco, respectivamente.

Nos tratamentos adubados com fosfato natural reativo há maior volume de solo com teores considerados médios, do que os tratamentos com superfosfato triplo, que mantém volume um pouco superior de solo com valores adequados de CO no solo.

As parcelas submetidas aos tratamentos com adubos fosfatados, independentemente da fonte ou do modo de aplicação do fertilizante fosfatado, apresentaram maiores teores de CO do solo. Os teores de CO no solo foram

relacionados aos teores de Pi no solo, formando pares ordenados para a análise de correlação entre as variáveis.

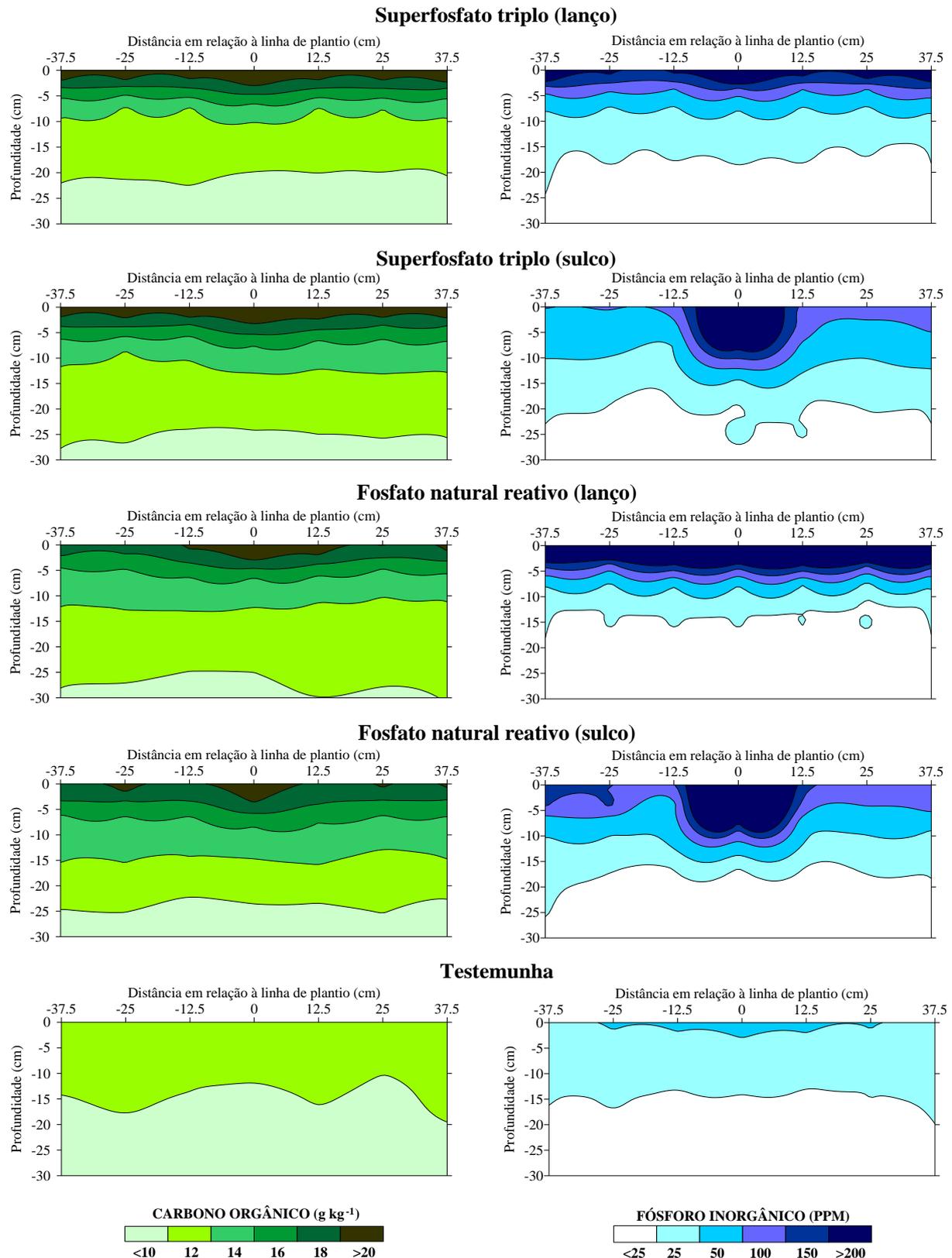


Figura 7. Distribuição horizontal e vertical do carbono orgânico do solo e do fósforo inorgânico obtidas por krigagem, após oito anos em sistema plantio direto, cultivado com soja e milho em Latossolo do Cerrado.

Estes dados foram reduzidos de 525 para 175 pares de dados, pela média das três repetições, e submetidos à análise de correlação. Ao realizar esta média, os dados não sofreram qualquer retirada de dados, e não foi considerado, nenhum dado perdido.

Foram testadas várias alternativas para encontrar o modelo de melhor ajuste e verificação da correlação entre as variáveis, entre elas: modelo linear, logarítmico, potencial, quadrático, linear-platô e quadrático-platô. Entre todas estas o modelo que melhor ajustou a equação geral foi o modelo quadrático-platô, que expressou relação quadrática e positiva entre os teores de Pi e os teores de CO encontrados nas amostras de solo.

O modelo quadrático-platô é composto de duas fases: a primeira relaciona positivamente o teor de Pi e o CO do solo, chamada fase quadrática, e outra em que o teor de Pi no solo não interfere no aumento de CO no solo, chamada fase platô.

Este tipo de ajuste compõe uma equação geral encontra um valor máximo de Pi, indicando que, valores acima deste, não interferem no aumento do teor de CO no solo. Para as condições deste experimento situado no bioma Cerrado, instalado sob Latossolo Vermelho distrófico típico em sistema plantio direto há oito anos, o modelo permitiu esclarecer que a até 170 ppm, o Pi afeta positivamente no aumento de CO no solo até que este atinja o patamar de $19,5 \text{ g kg}^{-1}$, o que equivale a aproximadamente 33 g kg^{-1} de matéria orgânica no solo (Figura 8), valor considerado adequado para este solo, segundo Sousa & Lobato (2004a).

Entre os parâmetros do modelo quadrático “a” representa o valor de partida, ou seja, o valor de CO do solo (em g kg^{-1}) a partir do qual aplica-se o modelo proposto; “b” é o coeficiente linear que expressa relação direta entre o Pi e o CO do solo; e “c” o coeficiente quadrático, porção final do modelo quadrático cuja influência do Pi sobre o incremento de CO é menor. Entre os parâmetros para a construção do platô estão os valores X e Y, onde X expressa o valor máximo de Pi (em ppm) a partir do qual não influencia nos aumento de CO no solo; Y é o valor máximo de CO do solo (em g kg^{-1}) proposto pelo modelo.

O ajuste do modelo quadrático – platô e a equação geral pode ser visualizado na Figura 8. Observa-se neste gráfico que mesmo valores muito elevados de Pi no solo, não interferem no incremento de CO no solo.

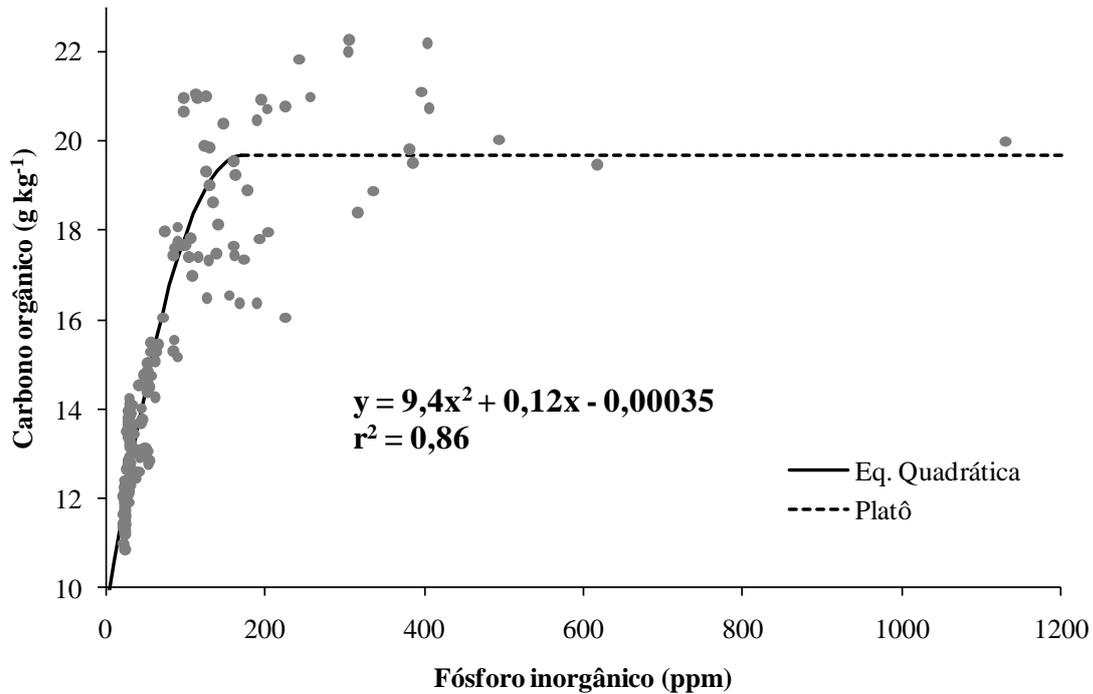


Figura 8. Relação entre o teor de carbono orgânico e fósforo inorgânico do solo para todas as amostras coletadas na área experimental (dados médios de três repetições – 175 pares, valores de carbono orgânico variaram de 10,87 g kg⁻¹ a 22,25 g kg⁻¹ e fósforo inorgânico de 21 ppm a 1.130 ppm).

4. CONCLUSÕES

1. Observou-se variação na distribuição horizontal e vertical do teor de carbono orgânico do solo, sendo mais significativa a variação no sentido vertical.

2. O teor de carbono orgânico do solo é influenciado pela adubação das culturas com fertilizante fosfatado, sendo que os tratamentos com adição de adubos fosfatados apresentaram maiores teores que o tratamento testemunha, sem adição de adubo fosfatado.

3. No que se refere à distribuição vertical os maiores teores estão na camada mais superficial (0-2,5 cm), por isso quanto mais profunda for a camada de solo avaliada, menor será o teor de carbono orgânico.

4. Foram observados maiores teores de carbono orgânico no solo, na linha de plantio do último cultivo (milho) com pequeno decréscimo no sentido perpendicular (em direção à entrelinha).

5. O padrão de distribuição vertical do carbono orgânico do solo é diferente quando comparados tratamentos com e sem adubação fosfatada, havendo diferença na distribuição conforme a fonte de adubo fosfatado utilizado. No tratamento testemunha, não há diferença da distribuição vertical do carbono orgânico até a camada de 10 a 20 cm.

6. Os teores de carbono orgânico do solo têm distribuição horizontal diferenciada para as camadas mais superficiais, até a profundidade de 10 cm, apenas nos tratamentos com adubação fosfatada, no tratamento testemunha não foi verificada variação na distribuição horizontal do carbono orgânico do solo.

7. Observou-se relação quadrática entre os teores de fósforo inorgânico e carbono orgânico do solo, até o limite de 170 ppm de fósforo inorgânico alcançando um valor máximo de $19,5 \text{ g kg}^{-1}$ de carbono orgânico, considerando todos os tratamentos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLMARAS, R. R.; LINDEN, D. R.; CLAPP, C. E. Corn-residue transformations into root and soil carbon as related to nitrogen, tillage and stover management. **Soil Science Society American Journal**, v. 68, p. 1366-1375, 2004.

AMADO, T. C. J.; 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 na melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p. 189-197, 2001.

BAYER, C. **Características químicas do solo, nutrição e rendimento do milho afetados por métodos de preparo e sistemas de culturas**.1992. 172 f. Dissertação (Mestrado em ciência do solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1992.

BORDIN, I.; NEVES, C. S. V. J.; MEDINA, C. C.; SANTOS, J. C. F.; TORRES, E.; URQUIAGA, S. Matéria seca, carbono e nitrogênio de raízes de soja e milho em plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n.12, p.1785-1792, dez. 2008.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p.147-157, 2009.

CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.425-432, 1999.

COSTA, F. S.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J. Estoque de carbono no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.323-332, 2008.

COSTA, S. E. V. G. A. **Distribuição de fósforo, de potássio e de raízes e rendimento de milho em sistemas de manejo do solo e da adubação em longo prazo**. 2008. 116 f. Dissertação (Mestrado em ciência do solo) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

COSTA, S. E. V. G. A; SOUZA, E. D.; ANGHINONI, I.; FLORES, J. P. C.; ANDRIGUETTI, M. H. Distribuição de potássio e de raízes no solo e crescimento de milho em sistemas de manejo do solo e da adubação em longo prazo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1291-1301, 2009.

DUIKER, S. W.; BEEGLE, D. R. Soil fertility distributions in long-term no-till, chisel/disk and moldboard plow/disk systems. **Soil & Tillage Research**, Pennsylvania, v. 88, p. 30-41, 2006.

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

FARIA, G. E.; BARROS, N. F.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; PAIVA, A. O. Carbono orgânico total e frações da matéria orgânica em diferentes distâncias da cepa de eucalipto. **Cerne**, Lavras-MG, v.14, n.3, p.259-266, 2008.

GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Fósforo. In: GOEDERT, W. J. Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo. Planaltina: EMBRAPA-CPAC; São Paulo: Nobel, 1986. P. 129-166.

GONÇALVES, C. N.; CERETTA, C. A. Plantas de cobertura de solo antecedendo o milho e seu efeito sobre o carbono orgânico do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p. 307-313, 1999.

INSTITUTO CEPA - Instituto de Planejamento e Economia Agrícola de Santa Catarina. **Avaliação do projeto microbacias** – Análise comparativa do plantio direto frente ao sistema convencional de manejo do solo em sistemas de produção de lavouras em Santa Catarina. Luiz Toresan (Coord.). Disponível em: <http://www.microbacias.sc.gov.br/visualizarArquivo.do?entity.arquivoPK.cdProjeto=1&entity.arquivoPK.cdArquivo=1502> . Acessado em 14 dez 2010. 40 p. 1999

JACKSON, M. L. **Análisis químico de suelos**. Barcelona: Omega, 1970. 662p.

JOBÁGY, E. G.; JACKSON, R. R. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. **Ecological Applications**, v. 10, n. 2, p. 423-436, 2000.

KUO, S. Phosphorus. In: SPARKS, D. L.; PAGE, A. L.; HELMKE, P. A.; LOEPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P. N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSTON, C. T.; SUMNER, M. E. (Ed.) **Methods of soil analysis** Part 3: Chemical methods. Madison: Soil Science Society of America - American Society of Agronomy, 1996. v.3 p. 869-920.

LAMBERS, H.; SHANE, M. W.; CRAMER, M. D.; PEARSE, S. J.; VENEKLASS, E. J. Root structure and functioning for efficient acquisition of phosphorus: matching morphological and physiological traits. **Annals of Botany**, London, v. 98, n. 4, p. 693-713, 2006.

LEITE, G. H. M. N.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; COGO, N, P. Atributos químicos e perfil de enraizamento de milho influenciados pela calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p. 685-693, 2006.

LEONEL, S.; DAMATTO JUNIOR, E. R. Perfil radicular da figueira sob efeito de níveis de adubação orgânica. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal-SP, v.29, n.1, p.191-194, 2007.

LIMA, J. S. S.; OLIVEIRA, P. C.; OLIVEIRA, R. B.; XAVIER, A. C. Métodos geoestatísticos no estudo da resistência do solo à penetração em trilha de tráfego de tratores na colheita de madeira. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.5, p.931-938, 2008.

LOURENÇO, R.S.; MEDRADO, M.J.S. Cobertura morta na produção da erva-mate. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1998. 15p. (EMBRAPA-CNPQ. Circular Técnica, 30).

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com rendimento do milho em

sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p. 175-187, 2004.

MATOS, E. E.; MENDONÇA, E. S.; VILLANI, E. M. A.; LEITE, L. F.; GALVÃO, J. C. C. Formas de fósforo no solo em sistemas de milho exclusivo e consorciado com feijão sob adubação orgânica e mineral. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v.30, p.625-632, 2006.

MELLO IVO, W. M. P.; MIELNICZUK, J. influência da estrutura do solo na distribuição e na morfologia do sistema radicular do milho sob três métodos de preparo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.135-143, 1999.

MOLLIER, A.; PELLERIN, S. Maize root system growth and developments influenced by phosphorus deficiency. **Journal of Experimental Botany**. Oxford, v.50, n.333, p.487-497, 1999.

MOTTA, A. C. V.; NICK, J. A.; YORINORI, G. T.; MONTE SERRAT, B. Distribuição horizontal e vertical da fertilidade do solo e das raízes de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cultivar catuaí. **Acta Scientia Agronomica**, Maringá-PR, v.18, n.4, p.455-463, 2006.

NOVAIS, R. F.; MELLO, J. W. V. Relação solo-planta. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; BARROS, N, F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. IV, p.133-204

PAVINATO, A. **Teores de carbono e nitrogênio do solo e produtividade de milho afetados por sistemas de culturas**. 1993. 122 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1993.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; GUIMARÃES, P. T. G. G.; MELO, L. C. A.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. C. Carbono orgânico e nitrogênio total do solo e suas relações com os espaçamentos de plantio de cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p. 2051-2059, 2008.

REEVES, D. W. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. **Soil & Tillage Research** n. 43 p.31-167, 1997.

RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E.; ALVES, V. M. C; MUNIZ, J. A.; CURTI, N.; LAGO, F. J. Resposta do milho a fontes e modos de aplicação de fósforo durante três cultivos sucessivos em solo da região do cerrado. **Ciência agrotécnica**, Lavras, v. 30, n. 3, p.458-466, 2006.

RESENDE, D. M. L. C.; MUNIZ, J. A.; FERREIRA, D. F.; SILVA, F. F.; AQUINO, L. H. Ajuste de modelos de platô de resposta para a exigência de zinco em frangos de corte. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 31, n. 2, p. 468-478, 2007.

SANTOS, D. B. M. **Distribuição do fósforo no perfil do solo sob sistema plantio direto**. 2009. 81 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

SCHENCK, M. K.; BARBER, S. A. Potassium and phosphorus uptake by corn genotypes grown in the field as influenced by root characteristics. **Plant and Soil**.

n.54. p. 65-76, 1980.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; BARROS, N, F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds). **Fertilidade do solo**. Viçosa – MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p. 275-374.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.191-199, 2000.

SOUSA D. M. G.; LOBATO, E. (Ed). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2.ed. Brasília – DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004a. 416 p.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S., (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba – SP: Potafos, 2004b. p.157-196.

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**. 2.ed. Brasília – DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004c. p. 147-183p.

SOUSA, D. M. G.; REIN, T.; GOEDERT, W. J.; LOBATO, E.; NUNES, R. S. Fósforo. In: Simpósio sobre boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: nutrientes; v.2. Piracicaba – SP: IPNI, 2010: **anais...** 55p.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I. C. B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p. 725-730, 2001.

VASCONCELOS, A. C. M.; CASAGRANDE, A. A.; PERECIN, D.; JORGE, L. A. C.; LANDELL, M. G. A. Avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar por diferentes métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p. 849-858, 2003.

VIANA, J. H. M.; FRANÇA, G. E.; MANTOVANI, E. C.; FERNANDES FILHO, E. I.; SHAEFER, C. E. G. R. Variabilidade espacial de um Latossolo Vermelho Amarelo sob cultivo intensivo. I. Distribuição espacial de atributos químicos. In: 3º Simpósio internacional de agricultura de precisão. Sete Lagoas – MG: SIAP, 2005: **anais...** 6p.