

UFRRJ

**PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA,
TECNOLOGIA E INOVAÇÃO EM AGROPECUÁRIA**

TESE

**Indicadores da Qualidade do Solo em uma
Cronossequência sob Sistema Plantio Direto em
Guaira - PR**

Cláudia dos Reis Ferreira

2016



**PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA, TECNOLOGIA E
INOVAÇÃO EM AGROPECUÁRIA**

**INDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO EM UMA
CRONOSSEQUÊNCIA SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO EM
GUAÍRA – PR**

CLÁUDIA DOS REIS FERREIRA

Sob a Orientação da Professora
Lúcia Helena Cunha dos Anjos

e Co-orientação dos Professores
Marcos Gervasio Pereira

e

Maria Elizabeth Fernandes Correia

Tese submetida como requisito parcial
para obtenção do grau de **Doutora**, no
Programa de Pós-Graduação em Ciência,
Tecnologia e Inovação em Agropecuária,
Área de Concentração em Recursos
Naturais e Proteção Ambiental

Seropédica, RJ
Abril de 2016

631.4098162

F383i

T

Ferreira, Cláudia dos Reis, 1984-

Indicadores de qualidade do solo em uma cronosequência sob sistema plantio direto em Guaíra – PR / Cláudia dos Reis Ferreira – 2016.

91 f.: il.

Orientador: Lúcia Helena Cunha dos Anjos.

Tese (doutorado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária.

Bibliografia: f. 69-91.

1. Solos – Guaíra (PR) – Teses. 2. Solos – Qualidade – Teses. 3. Solos – Manejo – Teses. 4. Solos – Agregação – Teses. 5. Húmus – Teses. I Anjos, Lúcia Helena Cunha dos, 1957-. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária. III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta tese, desde que citada a fonte.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
EM AGROPECUÁRIA**

CLÁUDIA DOS REIS FERREIRA

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária, área de Concentração Recursos Naturais e Proteção Ambiental.

TESE APROVADA EM 25/04/2016

Marcos Gervasio Pereira. Dr. UFRRJ
(Co-orientador)

Érika Flávia Machado Pinheiro. Dra. UFRRJ

Luiz Fernando Duarte de Moraes Dr. Embrapa Agrobiologia

Jean Sérgio Rosset. Dr. UEMS

José Luiz Rodrigues Torres. Dr. IFTM

DEDICATÓRIA

Aos meus pais **Celso Antônio Ferreira** e **Terezinha dos Reis Ferreira** por toda educação e amor dedicado desde sempre;

Ao meu irmão **Clauber dos Reis Ferreira** pelo apoio incondicional durante toda minha vida;

Ao meu amigo e companheiro **Jair do Nascimento Guedes** por todo amor companheirismo e respeito;

À minha cunhada **Mônica Tenório Dantas** por todo apoio, carinho, respeito.

AGRADECIMENTOS

Muitas pessoas me ajudaram muito nessa longa caminhada, portanto quero deixar a todos meus sinceros agradecimentos.

Agradeço a Deus pela vida, saúde e por toda força para que pudesse cumprir todas as tarefas e vencer todos os obstáculos.

Aos meus pais, por todo amor, carinho e compreensão em todos os momentos e pela confiança a mim creditada.

Ao Jair Guedes, em especial, pela compreensão, apoio e carinho durante esta jornada, na qual me sinto honrada em tê-lo ao meu lado.

A professora e orientadora Lúcia Helena Cunha dos Anjos, pela paciência, dedicação e confiança no desenvolvimento das atividades. Obrigada pela orientação e por contribuir de forma imprescindível na minha vida profissional. Obrigada pelas cobranças e ensinamentos.

Ao professor e coorientador Marcos Gervasio Pereira, pela paciência, dedicação, cobrança e sinceridade.

A pesquisadora Maria Elizabeth Fernandes Correia pelas sugestões, dicas e confiança no desenvolvimento das atividades.

Aos proprietários das áreas cedidas para o estudo, Isac Sérgio Rosset, Maury Luiz Lovera, Airton Groff. Sem a colaboração de vocês este estudo não poderia ser realizado. Obrigado também pela disponibilização de todas as informações necessárias e apoio logístico nas coletas de solos.

Ao Laboratório de Gênese e Classificação de Solos (LGCS), em especial ao Anderson pela ajuda nas coletas, ao Alexandre pela ajuda nas análises estatísticas e a Vanessa e Eduardo pela colaboração com a triagem dos agregados.

Ao Curso de Pós-graduação em Agronomia-Ciência do Solo (CPGA-CS), no Departamento de Solos, por toda estrutura e pela oportunidade de desenvolvimento de minhas atividades.

Ao Laboratório de Fauna do Solo da Embrapa Agrobiologia por toda estrutura e oportunidade de desenvolvimento de minhas atividades.

Ao meu pai, Jean, Sr. Isac Rosset, Ney, Moraes pela grande ajuda na coleta das amostras, sem vocês esse trabalho não seria possível. Muito obrigada.

A Hirma Rosset e Isac Rosset que mesmo sem me conhecer, me receberam e me trataram como uma filha. Do fundo do meu coração, muito obrigada.

Aos funcionários do Departamento de Solos, em especial Maria Helena e Anselmo pelo incentivo e contribuição nas análises de estabilidade de agregados e granulometria.

Ao PPGCTIA pela oportunidade de realização deste curso e a todos os professores pelos ensinamentos multidisciplinares que me fizeram crescer muito.

A CAPES pela bolsa concedida ao longo do curso de doutorado

Ao Moraes por nos levar de forma segura e agradável à Guaíra.

Aos membros da banca por enriquecerem este trabalho com sugestões e observações pertinentes colaborando para o meu crescimento profissional. Em especial gostaria de agradecer ao Jean, por ter feito parte desse trabalho, desde o início, pela ajuda nas coletas,

Aos amigos Luciene, Ricardo, Graça, Andinha, Natália, Rosimar, Sandro Camarini, Mayara, Vitinho, Renata por momentos especiais e de muita alegria.

BIOGRAFIA

Cláudia dos Reis Ferreira, filha de Celso Antônio Ferreira e Terezinha dos Reis Ferreira, nasceu em Volta Redonda – RJ no dia 16 de fevereiro de 1984. Reside em Pinheiral desde então. Em 1999 cursou concomitantemente o nível médio e o curso técnico em agropecuária no Colégio Agrícola Nilo Peçanha, hoje denominado como Instituto Federal de Ciência e Tecnologia. Em 2002, iniciou o curso de graduação em Engenharia Agrônômica na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, diplomando em 2008. Durante a graduação foi monitora da disciplina Aptidão Agrícola dos Solos Brasileiros no Departamento de Solos, de agosto de 2000 a julho de 2002 sob a orientação da Dr^a Lúcia Helena Cunha dos Anjos e do Dr Marcos Gervasio Pereira. Em setembro de 2008 a agosto de 2010 foi professora substituta no Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro – Campus Pinheiral. Em março de 2010, sob a orientação da Pesquisadora Maria Elizabeth Fernandes Correia, ingressou no Mestrado no Curso de Pós-graduação em Agronomia - Ciência do Solo, concluindo em fevereiro de 2012. Em março de 2012 iniciou suas atividades de Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária.

RESUMO GERAL

FERREIRA, Cláudia dos Reis. **Indicadores da qualidade do solo em uma cronosequência sob sistema plantio direto em Guaíra – PR.** 2016. 91 f. Tese (Doutorado em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária). Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016.

Gerenciar adequadamente os recursos ambientais e simultaneamente produzir de forma sustentável é um grande desafio. Práticas de manejo conservacionistas, como o sistema plantio direto (SPD), visam aumentar a sustentabilidade dos sistemas agrícolas através da melhoria dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo. O trabalho foi desenvolvido em sistemas agrícolas particulares, explorados comercialmente no município de Guaíra – PR. Foram avaliadas três áreas com diferentes tempos de adoção do SPD, por 7, 14 e 23 anos sob sucessão das culturas soja (verão) e milho/trigo (inverno) (SPD₇, SPD₁₄ e SPD₂₃ respectivamente), e uma área de Floresta Atlântica como referência. As amostragens foram feitas no inverno após a colheita das culturas de milho (setembro/2013), e no verão, após a colheita de soja (fevereiro/2014). O objetivo foi avaliar o efeito do tempo de uso e manejo do solo sob diferentes coberturas em SPD sobre os atributos edáficos. As hipóteses testadas foram: a) sistemas de manejo de longa duração podem alterar características físicas, químicas e biológicas dos solos; b) a sucessão de culturas com espécies de gramíneas/leguminosas (milho/soja) promove modificações nos grupos da macrofauna do solo e, desta forma, nos compartimentos da MOS; e c) a época de avaliação (inverno e verão) influencia na composição da macrofauna do solo e nos compartimentos da MOS. Foram analisados: atributos químicos e estoques de carbono orgânico total (COT) e de nutrientes (Ca, Mg, K e P), análise granulométrica, estabilidade de agregados, densidade do solo (Ds) e da partícula (Dp), umidade atual do solo, calculado o volume total de poros, e avaliada a macrofauna edáfica, nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m. Foram identificados os tipos morfológicos de agregados, nos três grupos: fisiogênicos, intermediários e biogênicos. Para os diferentes grupos, foi medida a composição relativa, COT, e fracionamento químico e físico ou granulométrico da matéria orgânica. De modo geral, a variação nos atributos químicos se relacionou com o tempo de implantação do SPD e a época de amostragem, que também refletiu a cobertura do solo. A sucessão soja, milho/trigo contribuiu no aumento dos teores e estoques de carbono, Ca e P nos diferentes tempos de implantação do SPD. Embora sem diferença significativa entre as áreas, os valores de Ds em profundidade na área SPD₂₃, com maior tempo de adoção, indicam camadas compactadas, que devem ser monitoradas. A maior densidade e riqueza total de indivíduos da macrofauna foram encontradas nas áreas SPD₁₄ e SPD₂₃ sob a palhada do milho; porém não foram observados maiores índices de equabilidade, pelo domínio dos grupos Formicidae e Isoptera. As áreas com maiores valores de equabilidade foram a de referência, no inverno, e a de SPD₂₃ no verão, com 0,87 e 0,61, respectivamente. A maior proporção de agregados biogênicos foi na área de referência; já os fisiogênicos e intermediários predominaram nas áreas manejadas. Os teores de COT foram maiores nos agregados biogênicos, assim como o carbono orgânico associado aos minerais (COam). A fração húmica não apresentou diferença significativa na coleta de inverno; no verão, a húmica foi maior nos agregados fisiogênicos. Esse resultado indica que os agregados biogênicos do inverno originaram os agregados fisiogênicos encontrados no verão.

Palavras chave: Matéria orgânica do solo. Agregação do solo. Invertebrados do solo.

GENERAL ABSTRACT

FERREIRA, Cláudia dos Reis. **Soil quality indicators along a chronosequence of no-tillage system in Guaira – PR.** 2016. 91 p. Thesis (Doctorate in Science, Technology and Innovation in Agriculture). Pró Reitoria de Pesquisa e Pós Graduação, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016.

To manage properly the natural resources and also to produce with sustainability is a big challenge. Conservation management practices, such as no-tillage system (NTS), intend to increase the sustainability of agricultural systems through improvement of chemical, physical and biological soil attributes. This work was developed in private rural systems, explored commercially in Guaira municipality – Paraná State. Three different areas were evaluated, with NTS adoption time of 7, 14 and 23 years, with succession of soybean (summer) and corn/wheat crops (winter) (NTS7, NTS14 and NTS23, respectively), and an area of Atlantic Forest as reference. The sampling was taken in the dry season (September/2013), after harvesting corn, and in the rainy season (February/2014), after harvesting soybean; to evaluate effect of duration of soil usage and management under the different crops in NTS on edaphic attributes. The hypothesis tested were: a) long duration management systems can change physical, chemical and biological soil properties; b) the crop succession with grass/legumes species (corn/soybean) promotes modifications in the groups of soil macrofauna and, consequently, in the compartments of soil organic matter (SOM); and c) the season of sampling (winter and summer) influences the composition of soil macrofauna and in the SOM compartments. They were analyzed chemical attributes and total organic carbon (TOC) and nutrient stocks (Ca, Mg, K and P), particle size, aggregates stability, bulk and particle densities, actual soil moisture, calculated the total volume of pores, and evaluated the edaphic macrofauna, at the depths of 0-0.1, 0.1-0.2 and 0.2-0.3 m. The morphological types of aggregates were identified, establishing three groups: physiogenic, intermediates and biogenic. For the different groups it was measured the relative composition, TOC, and physical and chemical fractionation of organic matter. In general, the variation in chemical properties were related to NTS time and the sampling season, which also reflects the soil coverage. Soybean and corn/wheat succession contributed to increase contents and stocks of carbon, Ca and P in the different NTS chronosequences. Although there was no significant difference between the areas, the increasing bulk density values observed with depth in the NTS23 area, with longer system adoption, indicate compacted layers that should be monitored. The highest density and total richness of macrofauna individuals were found in the NTS14 and NTS23 areas under corn residues, but there were not observed higher indexes of equability, due to dominance of Formicidae and Isoptera groups. The areas with the highest equability values were the reference, in the dry season, and NTS23 in the rainy season, with values to 0.87 and 0.61, respectively. The biogenic aggregates were found in larger proportion in the reference area, while the physiogenics and intermediate predominated in the managed areas. The TOC contents were higher in biogenic aggregates, as well as organic carbon associated with minerals (OC_{am}). The humin fraction showed no significant differences in the dry season, while in the rainy season the humin content was higher in physiogenic aggregates. This result indicates that biogenic aggregates of the dry season change into the physiogenic aggregates found in the rainy season.

Keywords: Soil organic matter. Soil aggregation. Soil invertebrates.

RESUMEN EXTENDIDO

FERREIRA, Cláudia dos Reis. **Indicadores de calidad del suelo a lo largo de una cronosecuencia en sistema de cero labranza, en Guaira - PR.** 2016. 91 h. Tesis (Doctorado en Ciencia, Tecnología e Innovación en Agropecuaria). Pró-reitoria de Pesquisa e Pós Graduação. Universidade Federal Rural de Rio de Janeiro, RJ, 2016.

1. Introducción

La región este de Paraná se caracteriza por la agricultura intensiva, debido a las características del suelo, clima y topografía. De esta forma, la rotación de cultivo de soja (verano) y maíz/trigo (invierno) en el sistema de planteo directo (SPD) ocupa la mayor parte de las zonas agrícolas de la región. Históricamente, después de la tala de los bosques, que se celebró a principios de 1970, las áreas fueron convertidas al sistema de planteo convencional (SPC), con intenso laboreo del suelo y la quema de residuos con el fin de facilitar su manejo y siembra. En la década de 1990, las primeras áreas del SPC se convirtieron en SPD y el sistema comenzó a consolidarse en la década de 2000 y hoy el estado es una referencia nacional en la tecnología de producción de granos mediante sistema de planteo directo.

El uso de los sistemas conservacionistas como el SPD tiene como objetivo aumentar la sostenibilidad de los sistemas agrícolas mediante la mejora de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo. Este sistema se basa en tres premisas, cero labranza del suelo, el uso de la rotación de cultivos y el mantenimiento de la cobertura del suelo (Silva et al., 2009). Estos aspectos son citados en varios estudios como importante en la conservación de los atributos y los procesos del suelo, que afectan su calidad. Por lo tanto, según Guareschi (2013), después de años de implantación, el SPD puede proporcionar una serie de beneficios para el suelo, tales como: la reducción de la erosión del suelo, aumento de la materia orgánica (SOM) y en consecuencia, mejora de los atributos físicos (agregación) y química (fertilidad) de suelo, que favorecen la actividad biológica en el suelo con una mayor productividad de los cultivos.

Sin embargo, la sustitución de manejo con intenso laboreo del suelo por el sistema conservacionista, tales como el SPD genera modificaciones en el agroecosistema que pueden ser evaluados a través de indicadores de calidad del suelo. Para evaluar la calidad del suelo, algunos de sus atributos se utilizan como indicadores (Parkin y Doran, 1994). Según estos autores, un buen indicador: debe ser capaz de describir los procesos del ecosistema, integrar propiedades físicas, químicas y biológicas, además, ser sensibles a variaciones del clima y al manejo, ser accesible, de fácil entendimiento y de bajo costo.

Entre los diferentes indicadores, fueron seleccionados para este estudio los siguientes atributos: agregación (estabilidad de agregados y vías de formación), fertilidad de suelo, materia orgánica del suelo (carbono orgánico total, fraccionamiento químico y físico granulométrico) y la fauna edáfica. Estos son generalmente citados en la literatura como eficientes para evaluar la calidad de los agroecosistemas.

Las hipótesis probadas fueron: a) los sistemas de manejo a largo plazo pueden alterar las características físicas, químicas y biológicas de los; b) la rotación de los cultivos gramíneas/leguminosas (maíz/soja) promueve cambios en los grupos de macrofauna del suelo y por lo tanto, en las diferentes fracciones de la MOS; y c) la época de evaluación (invierno y verano) influye en la composición de la macrofauna del suelo y en las fracciones de la MOS.

La tesis se divide en dos capítulos. I - Secuestro de carbono, nutrientes del suelo y atributos físicos del suelo en el Sistema Plantio Directo con diferentes tiempos de ejecución

en Guaira, PR; II - Macrofauna Edáfica como Indicador de la Calidad del Suelo y su Influencia sobre la Agregación de Cronosecuencias del Sistema de Plantio Directo.

El objetivo general del estudio fue evaluar el efecto del tiempo de uso y manejo del suelo en los atributos edáficos utilizados como indicadores de calidad en una cronosecuencias de SPD en Guaira, PR.

2. Material y Métodos

El estudio fue realizado en sistemas de producción comercial y conducidos en una propiedad rural privada, con diferentes tiempos de implementación. Las áreas están ubicadas en la comunidad Maracajú dos Gaúchos, en el municipio de Guaira - PR.

Fueron evaluadas tres áreas de manejo y una de bosques nativos, que hoy es reserva natural, para un total de cuatro áreas de estudio, en un diseño experimenta completamente al azar. Las áreas de manejo fueron ordenadas en una cronosecuencia, en función del tiempo de establecimiento del SPD, siendo SPD7 - 7 años (fase de transición), SPD14 - 14 años (fase de consolidación) y SPD23 - 23 años (fase de mantenimiento), siendo el tiempo de establecimiento del sistema, considerado como tratamiento para este estudio.

Para analizar las propiedades químicas y físicas del suelo, se hicieron muestreos en dos épocas, para evaluar la influencia de la humedad del suelo y la cubierta vegetal en los atributos edáficos. La primera colecta fue se llevó a cabo en la estación seca (septiembre/2013) después de la cosecha de maíz, y la segunda colecta fue realizada en la estación lluviosa (febrero/2014), después de la cosecha de soja.

En cada área, en puntos representativos se delimitaron tres parcelas de 1000 m², y se marcaron tres puntos, para un total de nueve puntos por área en la que cada punto representa una repetición. En los locales de muestreo fueron abiertas mini trincheras de 25 x 20 cm, y en estas fueron colectadas las muestras de suelo, en tres profundidades (0-10, 10-20 y 20-30 cm). Los locales de muestreo fueron los mismos para el análisis de la macrofauna del suelo. En las mismas trincheras también se tomaron muestras de suelo inalteradas para el análisis de los agregados. Para la determinación de las propiedades químicas del suelo, se recogieron muestras de tierra de alrededor de 0,5 kg en tres profundidades. Las muestras se secaron al aire, maceradas y pasadas a través de tamiz de 2 mm de diámetro, obteniéndose las muestras de tierra seca fina al aire(TFSA).

Capítulo I se refiere a los análisis químicos del suelo por el método de Embrapa (1997), y el carbono orgánico total (COT) por el método de Yeomans y Bremner (1988). El secuestro de carbono y los nutrientes (Ca, Mg, K y P) en cada profundidad, se calcularon según la ecuación Ellert y Bettany (1995). Se llevó a cabo el análisis granulométrico del suelo por el método de la pipeta (Day, 1965), densidad aparente, densidad de las partículas y estabilidad de los agregados por el método de Embrapa (1997).

Se analizaron los resultados de normalidad y homogeneidad de los datos a través de la prueba de Shapiro-Wilk y Bartlett, respectivamente. Como los residuos de cada tratamiento son provenientes de una distribución normal y las varianzas son homogéneas, fue seleccionado el método de análisis estadístico paramétrico, en un diseño experimental completamente al azar con análisis factorial (dos épocas - seca y lluviosa, 3 tratamientos - el tiempo de implementación del SPD, y 9 repeticiones). Los resultados fueron comparados entre si mediante la prueba de Tukey al 5% de probabilidad, con la ayuda del programa estadístico R.

El área que comprendía el bosque Atlántico no se utilizó en el análisis estadístico para comparar cuantitativamente con relación a las áreas de producción, ya que es un sistema natural que se utiliza apenas como referencia cualitativa.

En el capítulo II fueron realizados los análisis de macrofauna edáfica por el método de monolitos de suelo del programa Tropical Soil Biological and Fertility Suelos (TSBF), segundo Anderson e Ingram (1993). Los individuos recogidos se colocaron en viales con solución de alcohol al 70% para la conservación a largo plazo. Posteriormente, en el laboratorio se llevó a cabo el recuento y la identificación a nivel de los principales grupos taxonómicos en órdenes generales y clases, de acuerdo con las descripciones proporcionadas por Costa et al. (1988), CSIRO (1.991) y Dindal (1990).

También se llevó a cabo la identificación morfológica de los agregados en los que se recogieron muestras de 0-10 cm.

Después de la colecta, las muestras se tamizaron en el campo, utilizando un conjunto de tamices de 9,7-8,0 mm, donde los agregados mayores que 9,7 y menores que 8,0 mm fueron descartados. Después de la separación, se observaron los agregados bajo la lupa y se separaron manualmente en cuanto a su morfología, de acuerdo con el método propuesto por Bullock et al. (1985) y adaptado por Pulleman et al. (2005).

Los agregados se separaron en tres tipos de patrones morfológicos: fisiogénicos, biogénicos e intermediarios (I). Y en estos diferentes tipos morfológicos de agregados se llevaron a cabo el fraccionamiento químico de la materia orgánica de acuerdo con la técnica de solubilidad diferencial establecida por la Sociedad Internacional de Sustancias Húmicas (Swift, 1996, adaptado por Benites et al. (2003). Y el fraccionamiento granulométrico por el método de Cambardella y Elliot, 1992.

En el muestreo de la macrofauna del suelo, a partir de monolitos, son retirados los especímenes del suelo. En este caso, la unidad de espacio está bien definida, y aunque se muestrea el volumen de suelo (0,25 x 0,25 x 0,30 cm), se estima la fauna del suelo por el área de la muestra. De este modo, se obtiene la densidad de los grupos de la fauna del suelo en el número de individuos por m². Para el cálculo de la densidad se multiplica el valor medio de individuos por 16, que es el factor de conversión entre el área muestreada (1/16 m²) por cuadrado. Los estimadores de diversidad utilizados en el estudio fueron: la riqueza total, la riqueza media, el índice de uniformidad de Pielou. La riqueza total es el número de diferentes grupos taxonómicos presentes en cada área, y la riqueza media es el promedio de los diferentes grupos taxonómicos por muestra.

Las variables consideradas en el análisis estadístico fueron: la densidad de la fauna, es decir, el número total de individuos en cada área y la riqueza media.

Se analizaron los resultados de normalidad y homogeneidad a través de pruebas Lilliefors y Cochran y Bartlett, respectivamente, con el auxilio del programa estadístico Sistemas para Análisis Estadístico (Saeg 8.1), de la Fundación Arthur Bernardes, de la Universidad Federal de Viçosa (Ribeiro Júnior, 2001).

Para la densidad de la fauna, los datos fueron transformados antes del análisis, mediante la ecuación $\log(x + 1)$. Como los residuos de cada tratamiento son provenientes de una distribución normal y las varianzas son homogéneas, fue adoptado el método de análisis estadístico paramétrico, en un diseño experimental completamente al azar con un diseño factorial (dos épocas - seca y lluviosa, 3 tratamientos - el tiempo de implementación SPD, y 9 repeticiones). Los resultados se compararon mediante la prueba de Tukey al 5% de probabilidad, utilizando el programa de cálculo SISVAR 4.6, de la Universidad Federal de Lavras (Ferreira, 2003).

3. Resultados y Discusión

En el primer capítulo los valores de pH para todas las áreas, en las dos épocas de muestreo, tuvieron una variación dentro de 5,02 a 6,42, caracterizando el suelo como moderadamente ácido (Freire et al. 2013).

Al comparar las épocas de colecta, se observa una reducción en los niveles de Ca y K para la temporada de lluvias en las áreas SPD23 y SPD7, respectivamente, en comparación con la temporada de seca en la profundidad de 0-10 cm. Este resultado puede ser explicado debido a los procesos de lixiviación de nutrientes que pueden estar siendo favorecidos por las lluvias, por el aumento del uso en la época de lluvias, además de la exportación de nutrientes por cultivo.

Para el contenido de P en el suelo a una profundidad de 0 a 10 cm, el mayor contenido de P fue observado en el área SPD23 en ambas épocas de muestreo (11.61 y 23.50 Mg dm⁻³). Evaluando el efecto de la estacionalidad y la cobertura, las concentraciones más bajas de P fueron observadas en la temporada seca para todas las áreas de manejo. En la profundidad de 10-20 cm se encontraron los valores más altos de P, en el área SPD14 (18.83 Mg dm⁻³). Este comportamiento se puede atribuir posiblemente a las aplicaciones de abonos fosfatados realizadas anualmente en los cultivos de soja (verano) y en el maíz (invierno), además de la baja fertilidad natural del suelo en relación con el P, como se puede ver en la zona de bosques Atlánticos.

En relación a la estacionalidad y la cobertura vegetal, las menores concentraciones encontradas en la época seca (rastrero de maíz) pueden estar asociados con un mayor uso de este nutriente por el maíz. Según Correa et al. (2008), aunque los requisitos nutricionales del maíz respecto al P, sean en cantidades mucho más pequeñas que de N y K, las dosis recomendadas son generalmente altas debido a la baja eficiencia (20-30%) de uso de este nutriente por la cultura, debido a la alta capacidad de adsorción del P en el suelo, reduciendo así su disponibilidad para las plantas.

Para el COT y su captura y almacenamiento, se observó aumento en los niveles en función del tiempo de implementación del SPD donde el área SPD23 presentó los niveles más altos de COT.

No se observaron diferencias significativas entre las áreas y las épocas evaluados para el DMP y el AIE.

De acuerdo con los valores de densidad del suelo (Tabla 10) no hubo diferencia significativa entre las áreas y la época de muestreo. Ya el bosque (zona de referencia) tuvo los valores más bajos en relación con las áreas de manejo, desde 0,76 a 1,06 mg.m⁻³. Esto se debe a la ausencia de cualquier manejo (tráfico de maquinarias) y la gran cantidad de raíces de la vegetación nativa y a las características del suelo, de tipo Latosolo, que naturalmente tiene mayor cantidad de agregados.

En el segundo capítulo, donde fue evaluada la macrofauna del suelo, fue observado, de forma general, una menor densidad total de individuos (68 ind.m⁻²) y la riqueza total (6 grupos) en la estación lluviosa, entre las áreas manejadas, cuando la cobertura de suelo era de paja de soja. En la estación seca, con la paja de maíz, fue observado que la densidad (1480 ind.m⁻²) y la riqueza total (17 grupos) mostraron un aumento. Con relación a los tipos morfológicos de agregados, al parecer son indicios expresivos de una mayor actividad biológica en áreas donde existe la vegetación nativa, y por lo tanto, una mayor cantidad de agregados de tipo biogénicos. La vegetación es un factor importante en la formación de agregados, por la acción mecánica de las raíces o la liberación de sustancias con acción de cementación. Indirectamente, proporciona alimentos para la fauna del suelo (Kiehl, 1979), que se metabolizan liberando residuos llamados coprolitos fecales o agregados biogénicos.

Entre las áreas estudiadas, los contenidos de COT en el área de referencia fueron más altos para todos los tipos de agregados en ambas épocas. Este patrón puede ser atribuido a la cantidad y calidad de los residuos vegetales depositados sobre la superficie del suelo con un suministro constante de carbono orgánico en este entorno. En función de la diversidad de las plantas, la composición de los residuos también es variada, lo que influye en el tiempo de la descomposición del material, garantizando una mayor permanencia de carbono en el suelo.

Comparando las áreas se puede observar mayores niveles de C_{Op} presente en los agregados fisiogénicos e intermediarios en el área SPD7. Mientras que para los agregados de tipo biogénico los niveles más bajos de C_{Op} fueron encontrados en el área de referencia. Este comportamiento se puede explicar por la actividad de la fauna del suelo, que está presente en los agregados biogénicos, descomponiendo el C_{Op} de forma más rápida. Como el área SPD7 es la más reciente con el SPD, todavía puede existir una influencia de del manejo anterior (SPC), por este motivo, la acumulación de paja es menor que en las otras áreas y la colonización de la fauna del suelo se sucede mediante los organismos más simples de la cadena trófica, los fitófagos. Con relación al CO_{am}, se observó una interacción significativa entre las áreas y la estacionalidad. En ambas épocas de colecta, fue posible observar que los niveles más altos de CO_{am} se encuentran en el área de referencia. Así como también, en la misma área, entre los diferentes agregados, fueron encontrados los niveles más bajos, durante la época de lluvias. Sin embargo, para los agregados de tipo fisiogénicos estos valores fueron determinados en el área SPD14, también durante la estación lluviosa.

Por tanto, los mayores niveles de C de las fracciones FAF y FAH analizadas, se observaron en la zona de referencia para todos los tipos de agregados, entre todas las áreas. Entre las épocas lluviosa y seca, no hubo diferencias significativas con excepción de la zona de referencia que tuvo los valores más bajos de carbono en la FAH, en los agregados biogénicos, durante la época de lluvias. El contenido de carbono en la fracción humina mostró un comportamiento similar entre las áreas, siendo observado los valores más altos en el área de referencia.

4. Conclusiones

En general, fue observado que la variación en los atributos químicos se relacionó con la cronosecuencias del SPD y la época en que fue realizado el muestreo, que también se vio reflejada en la cobertura del suelo. La rotación de soja, maíz/trigo contribuyó para el aumento de los niveles y el secuestro de carbono, y niveles de calcio y fósforo a través de la cronosecuencias del sistema de plantio directo. Aunque no se encontraron diferencias significativas entre las áreas, los valores observados de la densidad del suelo en profundidad en el área SPD23, con el mayor tiempo de adopción del sistema, indican capas compactadas, que deben ser monitoreados.

La mayor densidad y la riqueza total de individuos de la macrofauna fueron encontrados en las áreas SPD14 y SPD23 en la estación seca, pero no se observaron mayores índices de uniformidad debido a la dominancia de los grupos Formicidae e Isoptera.

Los agregados biogénicos fueron encontrados en mayor proporción en el área de referencia, mientras que los fisiogénicos e intermediarios fueron observados en mayor proporción en las áreas administradas.

Los niveles de C_{OT} fueron superiores en los agregados biogénicos, así como el carbono orgánico asociado a los minerales (CO_{am}).

Palabras-clave: Materia orgánica del suelo. Agregación de suelos. Invertebrados del suelo

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Indicadores propostos em diversos estudos para avaliar a Qualidade do Solo.....	7
Tabela 2. Histórico de uso ¹ , com as respectivas épocas de implantação de cada sistema de manejo na área de estudo em Guaíra-PR.....	24
Tabela 3. Histórico e descrição dos sistemas de plantio direto e práticas culturais nas áreas de estudo, Guaíra-PR.....	24
Tabela 4. Composição textural do solo (g.kg^{-1}) encontradas nos diferentes tratamentos nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm.	26
Tabela 5. Caracterização química do solo nos diferentes tratamentos e épocas de coleta (seca e chuvosa) na profundidade de 0-10 cm.	31
Tabela 6. Caracterização química do solo nos diferentes tratamentos e épocas de coleta (seca e chuvosa) na profundidade de 10-20 cm.	32
Tabela 7. Caracterização química do solo nos diferentes tratamentos e épocas de coleta (seca e chuvosa) na profundidade de 20-30 cm.	33
Tabela 8. Estoques de carbono e nutrientes no solo em áreas sob SPD com diferentes tempos de implantação, em diferentes épocas do ano, no município de Guaíra, PR.....	36
Tabela 9. Diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de agregação (IEA) em áreas sob SPD com diferentes tempos de implantação, em diferentes épocas do ano, no município de Guaíra, PR.....	38
Tabela 10. Densidade do solo, densidade de partículas, volume total de poros (VTP) e umidade atual no solo sob SPD com diferentes tempos de implantação, em diferentes épocas do ano, no município de Guaíra, PR.....	39
Tabela 11. Densidade total da macrofauna edáfica e índices ecológicos nos diferentes sistemas de manejo nas duas épocas avaliadas (seca e chuvosa).	51
Tabela 12. Densidade, expressa em ind.m^{-2} de cada grupo taxonômico sob os diferentes tempos de implantação de plantio direto e área referência (Floresta Atlântica), coletados na época seca.	53
Tabela 13. Densidade, expressa em ind.m^{-2} de cada grupo taxonômico sob os diferentes tempos de implantação de plantio direto e área referência (Floresta Atlântica), coletados na época chuvosa.	54
Tabela 15. Composição relativa dos tipos morfológicos de agregados nas duas épocas de avaliação (seca e chuvosa) na camada de 0-10 cm do solo.	58
Tabela 16. Teores médios de carbono orgânico total (COT) dos tipos de agregados nas áreas e épocas estudadas.	61
Tabela 17. Teores médios de carbono orgânico total (COT) nos diferentes tipos de agregados nas áreas e épocas estudadas.	61
Tabela 18. Teores de carbono orgânico particulado (COp) e carbono orgânico associado aos minerais (Coam) nas diferentes áreas e épocas estudadas.....	63
Tabela 19. Teores médios de carbono orgânico particulado (COp) e carbono orgânico associado aos minerais (Coam) nos diferentes tipos de agregados nas áreas e épocas estudadas.....	63
Tabela 20. Teores de carbono nas frações ácidos fúlvicos (FAF), ácidos húmicos (FAH) e humina (HUM) nos diferentes tipos de agregados nas áreas e épocas estudadas.	65
Tabela 21. Teores médios de carbono nas frações ácidos fúlvicos (FAF), ácidos húmicos (FAH) e humina (HUM) nos diferentes tipos de agregados nas áreas e épocas estudadas.	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Alterações no sistema solo em relação ao tempo de adoção do SPD (Fonte: Sá et al., 2004).....	3
Figura 2. Divisão dos Compartimentos da MOS.	12
Figura 3. Classificação de tamanho da biota do solo (Swift et al, 1979 modificado).....	16
Figura 4. Localização do município de Guaíra-PR.	23
Figura 5. Precipitação mensal nas épocas de coleta (seca e chuvosa). Época seca (abril a setembro/2013) e época chuvosa (outubro/2013 a março/2014) em Guaíra, PR.	25
Figura 6. Amostragem para macrofauna do solo e agregados sob SPD.....	46
Figura 7. Exemplo dos diferentes tipos de agregados na fração 9,7-8,0 mm: biogênico (A,B,C,D); fisiogênico (E,F); e intermediário (G,H)..	47
Figura 8. Distribuição dos grupos da macrofauna edáfica nas diferentes áreas de estudo na época seca.	55
Figura 9. Distribuição dos grupos da macrofauna edáfica nas diferentes áreas de estudo na época chuvosa.....	55
Figura 10. Relação das variáveis de macrofauna e dos fatores (tempo de adoção do SPD e sazonalidade) com os componentes principais 1 e 2 (CP 1 e CP 2).....	57
Figura 11. Valores médios dos tipos de agregados nas diferentes áreas estudadas na época seca.	59
Figura 12. Valores médios dos tipos de agregados nas diferentes áreas estudadas na época seca.	60

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1. Sistema de Plantio Direto	2
2.2. Qualidade do Solo e Sustentabilidade Agrícola	5
2.3. Atributos Físicos do Solo	8
2.3.1. Textura.....	9
2.3.2. Estabilidade de agregados e índices de agregação	9
2.3.3. Densidade do solo.....	11
2.4. Atributos Químicos	11
2.4.1. Matéria orgânica do solo	11
2.4.2. Fracionamento da matéria orgânica do solo	13
2.5. Atributos Biológicos.....	15
2.5.1. Fauna do solo.....	16
2.5.2. Relação da fauna do solo com a cobertura vegetal.....	17
3. CAPÍTULO I ESTOQUE DE CARBONO E NUTRIENTES E ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO COM DIFERENTES TEMPOS DE IMPLANTAÇÃO EM GUAÍRA, PR.....	19
3.1. RESUMO	20
3.2. ABSTRACT	21
3.3. INTRODUÇÃO.....	22
3.4. MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.4.1. Localização, Clima e Solo da Área de Estudo.....	23
3.4.2. Sistemas Avaliados e Histórico de Uso.....	23
3.4.4. Caracterização Analítica.....	25
3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
3.5.1. Atributos Químicos do Solo	29
3.5.2. Estoques de COT e de Nutrientes.....	34
3.5.3. Atributos Físicos do Solo	37
3.6. CONCLUSÕES	41
4. CAPÍTULO II MACROFAUNA EDÁFICA COMO INDICADORA DE QUALIDADE DO SOLO E INFLUENCIA NA AGREGAÇÃO	42
4.1. RESUMO	43
4.2. ABSTRACT	44
4.3. INTRODUÇÃO.....	45
4.4. MATERIAL E MÉTODOS.....	46
4.4.1. Macrofauna Edáfica.....	46
4.4.2. Identificação Morfológica dos Agregados	46
4.4.3. Análise dos Dados	48
4.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
4.5.1. Macrofauna do Solo	50
4.5.2. Agregados do Solo	57
4.6. CONCLUSÕES	67
5. CONCLUSÕES GERAIS	68
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

1. INTRODUÇÃO GERAL

A região oeste do Paraná é caracterizada por agricultura intensiva, em função de suas características de solo, clima e topografia. Dessa forma, o cultivo em sucessão de culturas soja (verão) e milho/trigo (inverno) em sistema plantio direto (SPD) abrange grande parte das áreas agrícolas da região. Historicamente, após o desmatamento das florestas, realizado no início da década de 1970, as áreas foram convertidas para o sistema de cultivo convencional (SPC), com intenso revolvimento do solo e queima da palhada a fim de facilitar o manejo e a semeadura. Na década de 1990, as primeiras áreas de SPC foram convertidas em SPD e esse sistema começou a se consolidar no início da década de 2000 e hoje o estado é referência nacional na tecnologia de produção de grãos em sistema de plantio direto.

O uso de sistemas de manejo conservacionistas como o SPD visa aumentar a sustentabilidade dos sistemas agrícolas através da melhoria dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo. Este sistema tem por base três premissas, o não revolvimento do solo, uso de rotação de culturas e manutenção da cobertura do solo (Silva et al., 2009). Esses aspectos são citados em diversos trabalhos como importantes na conservação de atributos e processos do solo, influenciando a sua qualidade. Assim, segundo Guareschi (2013), após anos de implantação, o SPD pode proporcionar uma série de benefícios ao solo, tais como: redução da erosão do solo, incremento no teor de matéria orgânica (MOS) e, conseqüentemente, melhoria nos atributos físicos (agregação) e químicos (fertilidade) do solo, favorecendo a atividade biológica no solo, com aumento da produtividade das lavouras.

No entanto, a substituição de manejo com intenso revolvimento do solo por sistema conservacionista, como o SPD, gera modificações no agroecossistema, que podem ser avaliadas através de indicadores de qualidade do solo. Para avaliar a qualidade do solo, alguns atributos são usados como indicadores (Doran e Parkin, 1994). Eles devem estar relacionados à funcionalidade que determinado atributo desempenha no solo, e ser sensíveis a alterações ambientais e intervenções antrópicas (Doran e Parkin, 1997). Ainda segundo Doran e Parkin (1994), um bom indicador deve apresentar certas características, tais como: descrever os processos do ecossistema, integrar propriedades físicas, químicas e biológicas, ser sensível a variações de clima e manejo, ser acessível, de fácil entendimento e de baixo custo.

Dentre os vários indicadores, foram selecionados nesse estudo os seguintes atributos: agregação (estabilidade de agregados e vias de formação), fertilidade do solo, matéria orgânica do solo (carbono orgânico total, fracionamentos químico e físico granulométrico) e fauna edáfica. Esses são geralmente citados na literatura como eficientes para avaliar a qualidade do solo de agroecossistemas.

As hipóteses testadas foram: a) sistemas de manejo de longa duração podem alterar características físicas, químicas e biológicas dos solos; b) a sucessão de culturas com espécies de gramíneas/leguminosas (milho/soja) promove modificações nos grupos da macrofauna do solo e, desta forma, nos compartimentos da MOS; e c) a época de avaliação (inverno e verão) influencia na composição da macrofauna do solo e nos compartimentos da MOS.

A tese é dividida em dois capítulos, o primeiro de título - Estoque de Carbono e Nutrientes e Atributos Físicos do Solo em Sistema Plantio Direto com Diferentes Tempos de Implantação em Guaíra, PR; o segundo - Macrofauna Edáfica como Indicadora de Qualidade do Solo e sua Influência na Agregação em Cronossequência de Sistema Plantio Direto.

O objetivo geral do estudo foi avaliar o efeito do tempo de uso e manejo de solo sobre atributos edáficos usados como indicadores de qualidade, em uma cronossequência de SPD em Guaíra, PR.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Sistema de Plantio Direto

Ao longo do tempo a humanidade vem utilizando os recursos naturais, principalmente o solo e a água de forma irrestrita, sem a preocupação com o futuro, o que gerou a acelerada degradação desses recursos. O preparo intensivo das terras para produção agrícola, no sistema de cultivo convencional, leva ao revolvimento constante de camadas superficiais e compromete qualidade funcional do solo (Derpsch et al., 2010; Wolfarth et al., 2011; Celik et al., 2011; Ding et al., 2011). Em função desse tipo de manejo, consequências como perdas de solo e nutrientes, alterações na estrutura e capacidade de retenção de água, esgotamento no conteúdo da matéria orgânica do solo (MOS) resultam na degradação de grandes áreas, comprometendo a qualidade do solo e, portanto, a sustentabilidade dos agroecossistemas (Vezzani, 2001; Ramos et al., 2011).

Diante desse cenário, busca-se atualmente por sistemas agrícolas sustentáveis, que visem manter a capacidade produtiva dos solos em longo prazo, mantendo sua qualidade e também do ecossistema. Uma dessas formas de manejo é o sistema plantio direto (SPD), que foi introduzido no Brasil na década de 1970, na região sul do país, com o objetivo inicial de amenizar os processos erosivos no solo e minimizar os impactos ambientais causados pelo plantio convencional (Lopes et al., 2004; Silva et al., 2009). Inicialmente, a adoção desse sistema em larga escala se deparou com limitações diretamente relacionadas ao avanço tecnológico, ou seja, a disponibilidade de maquinários adequados para esse sistema (semeadoras capacitadas para realizar o corte da palha e depositar as sementes no solo, sem revolvê-lo) e ainda a falta de herbicidas específicos para o controle de plantas daninhas, antes e após o plantio (Salton et al., 1998). Além disso, houve resistência por parte de alguns agricultores, em função do alto custo inicial e da carência de informações sobre o sistema.

Portanto, somente a partir da década de 1990, o SPD se consolidou no país, e em 1991, o Brasil chegava ao seu primeiro milhão de hectares implantados. Hoje estima-se que a área cultivada sob SPD no Brasil é de cerca de 32 milhões de hectares (FEBRAPDP, 2014; FAO, 2015), com 156 milhões de hectares em todo o mundo (FAO, 2015). Logo, após quatro décadas da implantação, o SPD já se consolidou como tecnologia conservacionista, amplamente aceita entre os produtores e adaptado a diferentes regiões do Brasil e aos diferentes níveis tecnológicos, ou seja, do pequeno ao grande agricultor (Luis, 2013).

O SPD é considerado uma prática de manejo conservacionista e têm como premissa três principais aspectos: o não-revolvimento do solo, a rotação de culturas, e a manutenção de resíduos orgânicos sob a superfície do solo (Salton et al., 1998; Fidélis et al., 2003; Siqueira Neto, 2006; Silva et al., 2009). Esses princípios visam o aumento da produtividade em conjunto com a conservação ou melhoria do ambiente (Heckler e Salton, 2002).

O não-revolvimento e a manutenção dos resíduos vegetais sob a superfície do solo gera fluxo contínuo de carbono o qual alimentará seus diferentes compartimentos (ativo e lento) e processos de (re) agregação do solo, originando estruturas mais estáveis. Esse processo promove benefícios ao solo, como: a proteção física do solo, reduzindo os processos erosivos, manutenção da umidade do solo, incremento no teor de MOS e conseqüentemente melhoria nos atributos físicos (agregação) e químicos (fertilidade) do solo, além de melhores condições a atividades biológicas e aumento significativo da produtividade (Salton, Hernani e Fontes, 1998; Muzzilli, 2002; Roscoe et al., 2006; Laurindo et al., 2009; Guareschi, 2013).

O constante fornecimento e a manutenção da palhada são apontados por Bayer e Mielniczuk (1999) e Castoldi et al. (2012) como primordiais para a sustentabilidade do SPD, em quantidade e qualidade diferenciada, o que irá proporcionar aumento da infiltração e

armazenamento de água no solo, redução da temperatura superficial, aumento da atividade microbiana, além do acúmulo superficial de nutrientes e matéria orgânica nas camadas superficiais do solo.

Outro fator importante para avaliar o SPD é o tempo de adoção, que tende a provocar diferentes alterações no perfil do solo como acúmulo de MOS, agregação do solo e ciclagem de nutrientes e aumento da atividade biológica, se manejado corretamente (Sá et al., 2004). Esses autores caracterizaram a dinâmica da MOS em relação ao tempo de adoção do SPD, enfatizando o rearranjo das partículas, os microagregados em macroagregados em uma nova formação estrutural. Na fase inicial do sistema, ou seja, nos primeiros cinco anos de adoção, apesar de apresentar baixo teor de MOS, baixo acúmulo de palhada são observados o início do restabelecimento da biomassa microbiana e o rearranjo da estrutura. No período de 5- 10 anos (fase de transição), inicia-se o acúmulo da palhada na superfície e de C e fósforo (P) orgânicos no solo, e ocorre a reagregação das partículas do solo. No período seguinte, de 10-20 anos (fase de consolidação), continua o acúmulo de palhada e de MOS, com respectivo aumento da capacidade de troca de cátions (CTC), de retenção de água, e elevada ciclagem de nutrientes. Após 20 anos no sistema (fase de manutenção), nota-se elevado acúmulo de palhada, fluxo contínuo de C, e maiores ciclagem de nutrientes e retenção de água (Figura 1).

INICIAL (0 – 5 anos)	TRANSIÇÃO (5 – 10 anos)	CONSOLIDAÇÃO (10 – 20 anos)	MANUTENÇÃO (> 20 anos)
Baixo teor de MO	Início do acúmulo de MO	Acúmulo de MO	Maior ciclagem de nutrientes
Baixo acúmulo de palhada	Início do acúmulo da palhada	Acúmulo da palhada	Fluxo contínuo de C
Reestabelecimento da biomassa microbiana	Início do acúmulo de C e P orgânicos	Aumento da CTC	Elevado acúmulo de palha
Rearranjo da estrutura	Reagregação das partículas do solo	Ciclagem de nutrientes	Maior retenção de água
		Retenção de água	

Figura 1. Alterações no sistema solo em relação ao tempo de adoção do SPD (Fonte: Sá et al., 2004).

Estudos têm mostrado que sistemas de cultivo como o plantio direto, onde são realizadas rotação de culturas e a superfície do solo é mantida coberta com resíduos vegetais, tendem a preservar a MOS. Segundo Pereira et al. (2013) o plantio direto, quando comparado ao convencional, é o sistema que melhor protege a MOS, pois funciona de forma semelhante a um sistema não perturbado. O acúmulo de MOS e de nutrientes inicia-se na superfície do solo, se aprofundando ao longo do perfil em função do tempo de adoção do SPD. A taxa de acúmulo tanto em superfície como em profundidade é dependente da quantidade e qualidade de resíduos adicionados ao solo.

Diversos estudos relatam o acúmulo de C sob SPD de longa duração nas regiões Sul (Castro Filho et al., 1998; Sisti et al., 2004; Diekow et al., 2005; Boddey et al., 2010), e Centro-Oeste do Brasil (Siqueira Neto et al., 2010; Guareschi; Pereira; Perin, 2012).

Em estudo desenvolvido no município de Marmeleiro/PR, em áreas sob diferentes sistemas de uso do solo (sistema de semeadura direta (SSD), sistema de preparo convencional (SPC), floresta secundária e pastagem), Loss et al. (2014a), quantificaram os teores de

carbono orgânico total (COT), o carbono das frações granulométricas e oxidáveis da MOS nos diferentes sistemas de uso da terra. Os autores verificaram que o SSD apresentou maiores valores de COT na camada superficial (0-0,05 m) do solo em relação às demais áreas avaliadas, mostrando as vantagens do uso de cobertura morta e ausência de revolvimento do solo neste sistema. Essas práticas auxiliam na manutenção da temperatura e umidade do solo, determinando uma menor taxa de decomposição e conseqüentemente mineralização da MOS (Loss et al., 2009a; Rosa et al., 2011). Enquanto que na área de SPC ocorreu o contrário, isto é, menores teores de COT, mostrando os efeitos negativos das práticas de manejo adotadas nesse sistema (aração e gradagem).

Resultados semelhantes foram encontrados por Silva Neto et al. (2008) e Rosa et al. (2011), avaliando teores de COT em solos com textura argilosa no sul do Brasil. Comparando áreas sob SSD e SPC, os autores mostram que o SSD conservou os teores de COT enquanto o SPC favoreceu perdas, ambos na camada superficial do solo (0-5 cm). Os teores de COT em profundidade (20-40 cm) encontrados na área de SPC são atribuídos ao revolvimento do solo, onde os resíduos encontrados na superfície são incorporados nas camadas mais profundas, através da ação de maquinários, porém esses não foram superiores aos encontrados no SSD, demonstrando a eficiência da palhada e da cultura de azevém como planta de cobertura.

A mesma tendência foi observada por Tormena et al. (2004), com maiores valores de COT na camada superficial do solo, estudando a estratificação de carbono orgânico (CO) em Latossolo Vermelho sob SPD com 10 anos de implantação. Os autores concluíram que o SPD proporciona um incremento no conteúdo de COT, principalmente nas camadas superficiais. Os resultados encontrados por Carmo et al. (2012), corroboram com os encontrados nos estudos de Tormena et al. (2004).

O acúmulo de C orgânico na camada superficial do solo em áreas sob SPD no Sul do Brasil foi constatado por Castro Filho et al. (1998), Bertol et al. (2004), Sisti et al. (2004), Costa et al. (2008) e Boddey et al. (2010). No cerrado segue a mesma tendência, conforme relatado por Corazza et al. (1999), onde foi observado acúmulo de 21,4 Mg ha⁻¹ de carbono em solo sob SPD e rotação de culturas durante 15 anos.

Estudos realizados por Siqueira Neto et al. (2009) mostraram que após 22 anos de cultivo sob SPD, em Latossolo Vermelho Distroférico no Paraná, houve aumento no estoque de C do solo. Para tratamentos com 12 anos de adoção, observou-se um estoque médio de 35,6 Mg ha⁻¹ de C, enquanto para tratamentos com 22 anos de adoção o estoque foi de 55,0 Mg ha⁻¹ de C, determinando-se aumento de 19,4 Mg ha⁻¹ C em 10 anos de SPD.

Avaliando diferentes sistemas de uso da terra (SPC, SPD, pastagem e mata secundária), Carneiro et al. (2009) observaram as mesmas tendências, isto é, quanto menor a mobilização do solo e maior a manutenção dos resíduos vegetais sobre o solo, maiores os teores de COT. Também observaram maiores teores de carbono residual, que é aquele que confere maior estabilidade a MOS, por estar em forma mais humificada estando protegido no interior ou entre os agregados do solo (Bayer e Mielniczuk, 2008).

Diante do exposto, podemos observar que diversos estudos mostram incremento de COT preferencialmente nas camadas superficiais do solo (geralmente 0-5 cm) sob SPD, em função do aporte superficial de resíduos vegetais, associada a menor taxa de decomposição, o não revolvimento do solo e ainda no caso de gramíneas, maior concentração de raízes nesta camada. Além disso, a MOS se inter-relaciona positivamente, ou seja, estimulando outros atributos do solo, como a fertilidade, agregação, atividade da biota do solo entre outros. Entretanto, o incremento de MOS no SPD apresenta variabilidade em função de fatores associados ao clima, principalmente a temperatura e precipitação, a textura e mineralogia dos solos, rotações de culturas adotadas, além da profundidade amostrada. Carvalho et al. (2010), relatam que de acordo com o manejo e clima o acúmulo de C acontece de forma lenta ou rápida.

Em função disso, é necessário que os estudos com SPD, sejam realizados regionalmente, avaliando as diferentes condições de clima e solo de cada local, além de observar o histórico de uso das áreas, de forma a melhorar o conhecimento sobre o potencial do manejo conservacionista no comportamento dos atributos do solo.

2.2. Qualidade do Solo e Sustentabilidade Agrícola

O solo é um recurso natural essencial para a vida no planeta, capaz de produzir muitos bens e serviços importantes, como a produção de alimentos, reciclagem ou assimilação de resíduos, além de ser um reservatório de biodiversidade (De Groot et al., 2002; Arrouays et al., 2012). Em função disso, o solo é considerado um componente capaz de influenciar na sustentabilidade dos agroecossistemas e sua qualidade está diretamente relacionada à segurança alimentar e a saúde humana (Chen et al., 1999; Lal, 1999; Cheng, 2003; Vezzani e Mielniczuk; 2009; Liu et al., 2013). Porém sua qualidade vem sendo ameaçada, em função do uso intensivo e práticas inadequadas de manejo, como desmatamentos desenfreados, utilização excessiva de agrotóxicos e fertilizantes, além do uso de maquinários extremamente pesados, resultando em graves consequências, como grandes perdas de solo por erosão, perdas de nutrientes e matéria orgânica e contaminação de recursos hídricos, comprometendo assim a qualidade funcional dos solos e dos ecossistemas.

Diante desse cenário, a comunidade científica consciente da importância da qualidade do solo para a qualidade ambiental, começou a abordar em suas publicações, já em meados de 1990, a relação entre a qualidade do solo e a sustentabilidade dos agroecossistemas. Lal e Pierce (1991) foram os pioneiros, alertando sobre a relação entre o manejo do solo e a sustentabilidade agrícola e a necessidade de buscar sistemas de manejo mais sustentáveis. Neste sentido, a discussão sobre qualidade do solo intensificou-se e diversos conceitos foram sugeridos, onde se destacam de Doran e Parkin (1994) que propuseram uma definição de qualidade do solo (QS), que foi reformulada por Doran (1997) e também pela Sociedade Americana de Ciência do Solo (1997), e que hoje é o conceito mais difundido e aceito por pesquisadores, produtores e organizações não governamentais. Assim, a qualidade do solo é definida como:

“a capacidade de um tipo específico de solo funcionar dentro dos ecossistemas naturais ou manejados para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde de plantas, animais e do ser humano. É a capacidade de o solo exercer suas funções na natureza, ou seja, funcionar como suporte para o crescimento de plantas e a criação de animais, promover a retenção e o movimento da água, promover a ciclagem de nutrientes, servir como tampão ambiental, além de ser um reservatório de biodiversidade” (Larson e Pierce, 1994; Karlen et al., 1997; Chaer, 2001).

A compreensão e adoção do significado de qualidade do solo se baseia em manejar esse recurso corretamente, respeitando potencialidades e limitações, sem degrada-lo para as gerações futuras, o que vai ao encontro dos princípios de sustentabilidade (Casalinho, 2003). Uma das definições é apresentada abaixo:

“sustentabilidade agrícola pode ser definida como a capacidade de um sistema agrícola produzir alimentos e fibras atendendo as demandas do presente, sem comprometer o processo de produção, para atender as necessidades das gerações futuras” (Gliessman, 2000).

Segundo Smyth e Dumansky (1995), a sustentabilidade está fundamentada em cinco pilares: produtividade, segurança, proteção, viabilidade e aceitabilidade. Portanto, a relação entre a QS e a sustentabilidade agrícola consiste em manter ou melhorar a produção e

serviços, ou seja, que um determinado tipo de solo obtenha altas produtividades, em um processo de produção seguro ambientalmente, preservando o potencial dos recursos naturais, sendo economicamente viável e socialmente aceito. Sendo assim, a QS é fundamental para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável (Wang e Gong, 1998; Doran e Zeiss, 2000; Audeh, et al., 2011), sendo utilizado como indicador de sustentabilidade de agroecossistemas, (Herrick, 2000; Casalinho et al., 2007).

Contudo para entender e medir o grau de degradação/conservação de um ambiente atributos indicadores de qualidade do solo vem sendo utilizados, sendo esses químicos, físicos ou biológicos. Esses atributos são monitorados ao longo do tempo, comparando seu desempenho com valores de referências estabelecidos a partir de resultados de pesquisas ou obtidos em ecossistemas naturais localizados nas mesmas condições do solo avaliado (Doran e Parkin, 1994; Karlen et al., 1997). De acordo com Casalinho (2003), essa última alternativa seria a melhor maneira para avaliar qual a tendência de evolução da qualidade do solo em um determinado sistema agrícola e suas perspectivas em evoluir para uma condição de harmonia com o ecossistema. Para isso, os indicadores escolhidos devem ser principalmente sensíveis ao manejo e uso da terra e demonstrar como um ambiente está se comportando perante determinado manejo. Atualmente grande parte dos estudos científicos utiliza áreas de mata nativa como referencial para comparação da QS com áreas manejadas, com diferentes sistemas de produção (Freitas et al., 2012; Pezarico et al., 2013).

Para Mitchell (1996), um indicador permite obter informações sobre uma dada realidade, podendo sintetizar um conjunto de informações e servir como instrumento de previsão e manejo. Na mesma linha, Burger (2006), define indicador como índice para avaliar a saúde de um sistema (econômico, físico, biológico, humano).

O solo é um sistema complexo e dinâmico, que possui uma série de funções no ambiente e infinidade de atributos e processos relacionados a essas funções. Em função disso, ainda há muitas dúvidas na escolha de um indicador, portanto alguns atributos vêm sendo testados como indicadores de QS, porém ainda não há consenso entre os pesquisadores e produtores de qual seria, ou quais seriam, os melhores indicadores, ou seja, aqueles capazes de expressar verdadeiramente as condições do ambiente.

Até meados dos anos 80, QS era apenas relacionada à fertilidade (Karlen et al., 1994; Karlen et al., 2003), ou seja, aqueles solos quimicamente ricos e que possuem alta produção de alimentos. No entanto, com a evolução nas pesquisas em QS e a busca por uma agricultura sustentável isso vem mudando. Vários estudos apontam que o solo não deve apresentar apenas boa fertilidade, mas também boa estruturação e abrigar alta diversidade de organismos, contribuindo assim para a estabilidade dos ecossistemas (Haberern, 1992; Gregorich et al., 1994; Zilli et al., 2003).

Apesar desse avanço nas pesquisas, muitos produtores ainda acreditam que um solo que produz bem e traz maior retorno financeiro é um solo de qualidade. Porém hoje, já se sabe que a fertilidade do solo é um atributo difícil de ser avaliado por comparação com áreas de vegetação nativa. Por exemplo, quando se compara uma área produtiva com área de floresta, a fertilidade da primeira é sempre superior a de vegetação natural, pois foi adubada. Então a fertilidade do solo de certa forma, seria mais um indicador econômico do potencial de retorno financeiro ao produtor que da QS.

Apesar de crescentes estudos em QS, não foi identificado ainda um indicador “ideal”, uma vez esse conceito pode variar em relação ao ambiente e ao tipo de solo que está se avaliando. Nesse sentido, Doran et al. (1996), Larson e Pierce (1994) e Chaer (2001), propuseram que o ideal é definir um conjunto mínimo de indicadores, interagindo atributos químicos, físicos e biológicos que mostrem a condição real do ecossistema avaliado.

Antes de selecionar um indicador é necessário que o mesmo atenda a alguns critérios abaixo reproduzidos de Paoletti et al. (1995) e Doran e Zeiss (2000):

- a) Ser sensível a variações de manejo e clima ao longo do tempo;
- b) Capaz de medir modificações nas funções básicas do solo;
- c) Ser representativo dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo;
- d) Ser de fácil acesso para pesquisadores e produtores;
- e) Aplicáveis às condições de campo;
- f) Ser de baixo custo e;
- g) Se possível fazer parte de um banco de dados.

Segundo Moreira e Siqueira (2006), a maioria dos atributos químicos e físicos dos solos podem ser considerados indicadores de médio a longo prazo, ou seja, é necessário um tempo maior para verificar mudanças significativas em função das práticas de manejo. Já os atributos biológicos e bioquímicos do solo, segundo Pascual et al. (2000), são considerados mais sensíveis às alterações ambientais, proporcionando respostas rápidas a tais alterações, sendo considerados indicadores de curto prazo.

Sendo assim, pesquisadores levantaram várias propriedades e processos do solo que podem ser usados como indicadores. A Tabela 1 é construída a partir de vários autores (Doran e Parkin, 1994; Karlen e Stott, 1994; Larson e Pierce, 1994; Chaer, 2001; Souza et al., 2003).

Tabela 1. Indicadores propostos em diversos estudos para avaliar a Qualidade do Solo

Indicadores Físicos	Indicadores Químicos	Indicadores Biológicos
Textura do solo	Carbono orgânico total	Carbono da biomassa microbiana
Profundidade do solo	Nitrogênio orgânico total	Nitrogênio da biomassa microbiana
Profundidade de enraizamento	Disponibilidade de nutrientes	Nitrogênio potencialmente mineralizável
Densidade do solo	Condutividade elétrica	Respiração dos organismos do solo
Porosidade (macro, micro e total)	pH	Relação entre carbono da biomassa total/ carbono total orgânico
Compactação ou adensamento subsuperficial	Presença de metais pesados	Relação respiração/biomassa
Velocidade de infiltração da água	CTC	Taxa de decomposição de resíduos biológicos
Capacidade de retenção de água	Fósforo	População microbiana e fungos micorrízicos
Temperatura do solo	Potássio	Densidade e diversidade de grupos da fauna do solo
Nível de agregação	Saturação por bases	
Estabilidade de agregados	Saturação por alumínio	
Estrutura do solo	Nitrogênio mineral (NH ₄ ⁺ e NO ₃ ⁻)	
Resistência do solo à penetração		

Fonte: Doran e Parkin, 1994; Karlen e Stott, 1994; Larson e Pierce, 1994; Chaer, 2001; Souza et al., 2003.

Além da visão dos pesquisadores, também temos que atentar para a visão do agricultor, pois apesar da ênfase em fertilidade do solo alguns identificam outros atributos

essenciais na QS. Casalinho et al. (2004) associaram o saber acadêmico com o saber do campo, possibilitando que o agricultor acompanhasse temporalmente as variações na qualidade do solo em suas propriedades. Foram realizadas entrevistas com um grupo de produtores, onde cada um expressou a opinião a respeito de um solo de qualidade, indicando os atributos que fazem parte da saúde do solo. Os autores agruparam as diversas opiniões e selecionaram os dez atributos mais relevantes, considerando a ordem e a frequência de citação. Os indicadores mais relevantes foram:

- a) Compactação
- b) Matéria orgânica
- c) Profundidade do solo
- d) Erosão
- e) População de minhocas na camada arável
- f) Aparência da planta
- g) Presença de organismos no solo
- h) Porosidade
- i) Cor do solo
- j) Plantas indicadoras

Pode-se observar que, mesmo em outra linguagem, os agricultores identificaram atributos em comum com os indicadores propostos pelos pesquisadores, o que mostra que além do grande interesse pela qualidade ou saúde do solo, os agricultores apresentam vasto conhecimento em relação ao tema e capacidade de avaliar as modificações decorrentes do sistema de manejo adotado por eles. Assim, verifica-se que existe uma série de atributos que podem ser usados como indicadores, e que a definição desses é a etapa mais importantes do processo de avaliação da qualidade do solo, sendo decisiva para o sucesso do trabalho.

2.3. Atributos Físicos do Solo

Definir um solo fisicamente ideal é difícil devido a grande variação quanto aos tipos de solos e suas características intrínsecas, além da grande variação de paisagens e ambientes. Porém, um solo pode ser considerado fisicamente ideal quando: permite a infiltração, retenção e disponibilização de água as plantas, córregos e subsuperfícies, responde ao manejo e resiste à degradação, permite as trocas de calor e de gases com a atmosfera e raízes de plantas; e possibilita o crescimento das raízes (Reichert et al., 2003). Paralelamente, a boa estabilidade dos agregados e a boa infiltração de água no solo são condições físicas importantes para qualidade ambiental dos ecossistemas.

Segundo Reynolds et al. (2002) *“um solo agrícola com boa qualidade física é aquele que é “forte” para manter uma boa estrutura, resistente à erosão e à compactação, mas também dever ser “fraco” o suficiente para permitir o crescimento radicular e colonização da flora e fauna do solo”*.

Para determinação da qualidade física do solo, tem-se proposto relacionar seus atributos aos processos envolvidos no sistema solo-planta, sendo o conhecimento da qualidade física fundamental para avaliar o nível de degradação de um agroecossistema e propor estratégias de manejo sustentáveis, segundo afirmam Lima et al. (2007).

Os indicadores físicos que vêm sendo recomendados por diversos pesquisadores para avaliar os impactos que ocorrem no solo são: a profundidade efetiva de enraizamento, a porosidade total, distribuição e tamanho dos poros, distribuição do tamanho das partículas, densidade do solo, resistência do solo à penetração das raízes, intervalo hídrico ótimo, índice de compressão e a estabilidade dos agregados (Singer e Ewing 2000; Schoenholtz et al., 2000; Ingaramo, 2003; Secco et al., 2005; Fernandes et al, 2007). Gomes et al. (2006) e Filizola et al. (2006) afirmam que os indicadores físicos são importantes por estabelecerem relações

fundamentais com os processos hidrológicos, tais como taxa de infiltração, escoamento superficial, drenagem e erosão. Possuem também função essencial no suprimento e armazenamento de água, nutrientes e de oxigênio no solo.

Para este estudo foram selecionados os atributos: textura, estabilidade de agregados, densidade do solo e agregação do solo.

2.3.1. Textura

A textura ou distribuição da granulometria do solo é atributo intrínseco do solo e um dos mais estáveis, que dificilmente se altera em função de práticas de manejo ou mudanças antrópicas nos ecossistemas. Porém, apesar de ser atributo relativamente estático, é fundamental a sua quantificação, pois possui estreita relação com os processos do solo, como a retenção e transporte de água, troca de oxigênio, teor de nutrientes e matéria orgânica, além de sua distribuição no perfil influenciar nos processos erosivos (Schoenholtz et al., 2000).

2.3.2. Estabilidade de agregados e índices de agregação

Uma boa agregação irá promover boas condições de aeração ao solo, retenção e armazenamento de água, fluxo de nutrientes e resistência mecânica à penetração, condições essas ideais para um bom desenvolvimento radicular e produtividade agrícola (Hoorman, 2009; Guedes Filho et al., 2013).

O processo de agregação do solo ocorre em duas etapas: a primeira relacionada à aproximação das partículas, que pode ocorrer através de forças mecânicas proporcionadas pelo crescimento de raízes, pela movimentação da fauna do solo, pelo fenômeno de expansão e contração do solo provocado pelo ciclo de umedecimento e secagem ou pela floculação, e a segunda etapa está relacionada à estabilização dessas partículas através de agentes cimentantes (Baver et al., 1972; Kiehl, 1979; Borges et al., 2003, Salton et al., 2008). Esse processo gera unidades estruturais, conhecidas como agregados, que em conjunto, definem a estrutura do solo.

Os agregados podem ser classificados de acordo com seu tamanho, em cinco grupos (< 2 µm; de 2 a 20 µm; de 20 a 250 µm; de 250 a 2 mm e > 2 mm). Sendo os menores que 250 µm chamados de microagregados e os maiores, macroagregados. Cada agregado será formado pela união de agregados da classe inferior a sua, sendo unidos por diferentes agentes cimentantes, variando de acordo com seu tamanho (Tisdall e Oades, 1982).

Existem vários agentes cimentantes envolvidos na estabilização dos agregados do solo. Eles podem ser classificados em três grupos, de acordo com sua resistência à ação microbiana: os transicionais, os temporários e os persistentes. Os transicionais são os polissacarídeos, que geralmente estão associados aos macroagregados, e são decompostos rapidamente pelos microrganismos por serem solúveis em água, deixando esses agregados menos estáveis e mais susceptíveis à quebra em função do manejo (Angers e Mehuys, 1989; Cambardella e Elliot, 1993). Os agentes temporários são as hifas de fungos e raízes que permanecem nos solos por períodos mais longos, variando de semanas, meses a anos, e também estão associados aos macroagregados. E os agentes persistentes são os materiais orgânicos humificados, principalmente os óxidos de ferro e alumínio, que constituem a parte mais importante da formação de microagregados do solo (Tisdall e Oades, 1982).

Uma forma de avaliar a estrutura do solo é por meio da análise de estabilidade de seus agregados, sendo um solo com boa estrutura aquele onde seus agregados encontram-se organizados de uma forma que garanta sua estabilidade, ou seja, que tenham resistência contra os efeitos destrutivos da chuva, escoamento e do vento. A estabilidade de agregados é considerada um dos indicadores mais importantes de degradação dos solos, sendo sua quantificação e interpretação fundamental para avaliar o comportamento físico do mesmo (Saygin et al., 2012). É influenciada por diversas características do solo, como tipo e teor de

argila (Feller et al., 1996), carbonato de cálcio, óxidos de ferro e alumínio (Silva e Mielniczuk, 1997; Oades e Waters, 1991; Dufranc et al., 2004), teor de matéria orgânica (Castro Filho et al., 1998; Arshad e Martin, 2002), metais polivalentes, atividades de microrganismos (Tisdall e Oades, 1979; Rillig, 2004; Mummey et al., 2006) e também pelo manejo do solo (Carpenedo e Mielniczuk, 1990; Cambardella e Elliot, 1993).

Para avaliar o estado de agregação do solo são utilizados índices, como o diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e o índice de estabilidade de agregados (IEA), propostos por Kemper (1965) e Kemper e Chepil (1965). Cada um deles apresenta um princípio diferente, onde o DMP é maior quando a porcentagem de agregados aumenta, demonstrando a estabilidade da estrutura diante dos processos desagregantes da água, podendo indicar também o grau de susceptibilidade à erosão hídrica (Castro Filho et al., 1998; Bertol et al., 2008). O DMG representa uma estimativa do tamanho da classe de agregados de maior ocorrência e o IEA é uma medida que representa a agregação total do solo e não considera a distribuição por classes de agregados. Quanto maior a quantidade de agregados < 0,25 mm, menor será o IEA.

Em experimento com idade de 14 anos em Londrina/PR, sob áreas com diferentes sistemas de preparo do solo (SPD e SPC) e três rotações de culturas (milho/trigo/milho, soja/trigo/milho e soja/trigo/soja), Castro Filho et al. (1998) avaliaram o efeito dos dois preparos e da rotação de culturas sobre a agregação do solo, a partir do DMP, DMG e IEA. Os autores concluíram que os três parâmetros foram maiores na profundidade de 0-10 cm, nas áreas de SPD, relacionando esse fato ao maior conteúdo de MOS acumulado por esse sistema em relação ao SPC.

Avaliando o efeito de diferentes sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo no Mato Grosso, Corrêa (2002), verificou que o maior fracionamento de agregados (redução dos agregados maiores que 2 mm) ocorreu nas áreas preparadas com grade aradora e niveladora para o monocultivo da soja (áreas com 4 e 6 anos consecutivos) quando comparado a maior estabilidade de agregados encontrada no SPD da soja sobre a palhada do milheto (com 2 anos consecutivos). Corroborando com demais estudos, Corrêa (2002) atribui esse fato ao menor revolvimento do solo e a adição de palhada sobre a superfície, que pode deter o processo de degradação ou recuperar solos já degradados. Segundo Marcolan (2002), o SPD proporciona maior tamanho de agregados estáveis quando comparado ao SPC, em função da não destruição mecânica dos agregados pela ação de maquinários e implementos agrícolas utilizados no preparo do solo e também pela proteção que a palhada oferece ao solo. Estudos demonstram correlação positiva entre o carbono orgânico do solo e a estabilidade de agregados em água.

Correlações positivas entre o COT e os índices de agregação (DMP, DMG, IEA) foram encontradas por Wendling et al. (2005), em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. Rozane et al. (2010), estudando diferentes manejos (mata nativa, pastagem e plantio de milho), também encontraram correlação positiva entre os valores de DMP e COT, indicando a importância do carbono orgânico na estabilidade de agregados do solo. Campos et al. (1995) verificaram que o solo sob SPD apresentou diâmetro médio dos agregados cerca de duas vezes maior que a semeadura convencional, e acrescentaram que essa diferença foi diretamente correlacionada ao incremento de carbono orgânico e atividade microbiana.

Segundo Islan e Weil (2000), a estabilidade de agregados, assim como a densidade e a porosidade do solo podem ser indicadores de qualidade do solo, por serem fortemente influenciados pelo manejo agrícola das terras.

2.3.3. Densidade do solo

A densidade do solo (D_s) representa a relação entre a massa de solo seco e o volume total. É um parâmetro variável entre os diferentes tipos de solos, em função de suas diferentes características, como: textura, estrutura e teor de matéria orgânica. Pode ser influenciado por diversos fatores, como, sistemas de manejo, tipo de cobertura vegetal, quantidade de resíduos presentes na superfície e teor de matéria orgânica do solo (Cavenage et al., 1999; Tormena et al., 2002; Cruz et al., 2003; Spera et al., 2004). A D_s tem sido muito utilizada como indicadora de qualidade do solo, por se tratar de atributo dinâmico, influenciado por práticas de manejo e de fácil determinação, estando relacionada ao grau de compactação do solo, que pode ser atribuído ao uso excessivo de máquinas e o pisoteio animal. Essas práticas podem aumentar a densidade dos solos e com isso ocasionar diminuição no volume total de poros, redução da permeabilidade e da infiltração de água, quebra dos agregados, resistência à penetração, o que pode provocar perda na qualidade física dos solos.

2.4. Atributos Químicos

Os atributos químicos do solo são fortemente influenciados pelos diferentes usos, sistemas, práticas de manejo e também pela cobertura vegetal. Estudos mostram que as mudanças na cobertura do solo afetam a qualidade química dos solos, principalmente quanto ao teor de carbono e nitrogênio (Martins et al., 1991; Feigl, 1995).

O monitoramento dos processos de melhoria ou degradação pode ser realizado pelos indicadores químicos de qualidade do solo, entre eles destacam-se: a matéria orgânica do solo e seus compartimentos, estoque de carbono, valores de pH, alumínio, cálcio, magnésio, fósforo, potássio, soma de bases, capacidade de troca catiônica e a porcentagem de saturação por bases, além de saturação por alumínio (Larson e Pierce, 1994; Doran e Parkin, 1994; Karlen e Stott, 1994; Reganold e Palmer, 1995; Harris et al., 1996; Aune e Lal, 1997; Schoenholtz et al. 2000); Conceição et al., 2005; Menezes, 2008).

2.4.1. Matéria orgânica do solo

A entrada de matéria orgânica (MO) no sistema solo é realizada através da deposição de resíduos vegetais e animais, além de exsudatos de raízes, sendo considerada a principal fonte de matéria e energia para a biota do solo. O processo de transformação das folhas e outras partes da planta, animais e raízes se intensificam no solo, onde os organismos decompositores ou transformadores de serapilheira iniciam a fragmentação desse material em partículas menores, o que facilita o trabalho dos microrganismos, que são os responsáveis por sua decomposição. Parte do carbono presente nos resíduos é liberada na forma de dióxido de carbono (CO_2), em processo denominado de mineralização, e o restante passa a fazer parte da matéria orgânica do solo (Schnitzer e Khan, 1972; Bayer e Mielniczuk, 1997).

A MOS é constituída de sistema complexo e heterogêneo de substâncias, cuja dinâmica é controlada pelo aporte de resíduos orgânicos de diversas naturezas e pela transformação contínua sob a ação de fatores biológicos, químicos e físicos (Camargo et al., 1999). Sendo assim, para melhor avaliação desse atributo a MOS pode ser dividida em compartimentos, que são definidos por diferentes modelos conceituais, baseados na localização (acessibilidade), composição química ou grau de estabilidade do material orgânico (Diekow, 2003). No modelo mais genérico, apresentado por Theng (1987), a MOS foi dividida em dois compartimentos: MOS viva e MOS morta. A fração viva é composta por raízes (5-10%), fauna (15-30%) e microrganismos (60-80%), o que representa 4% do carbono orgânico total (COT) do solo. Já a fração morta foi subdividida em fração leve ou matéria macrorgânica que consiste em resíduos de plantas e animais em diferentes estágios de

decomposição e fração pesada ou húmus, que por sua vez é dividida em substâncias húmicas e não húmicas, conforme ilustrado na Figura 2.

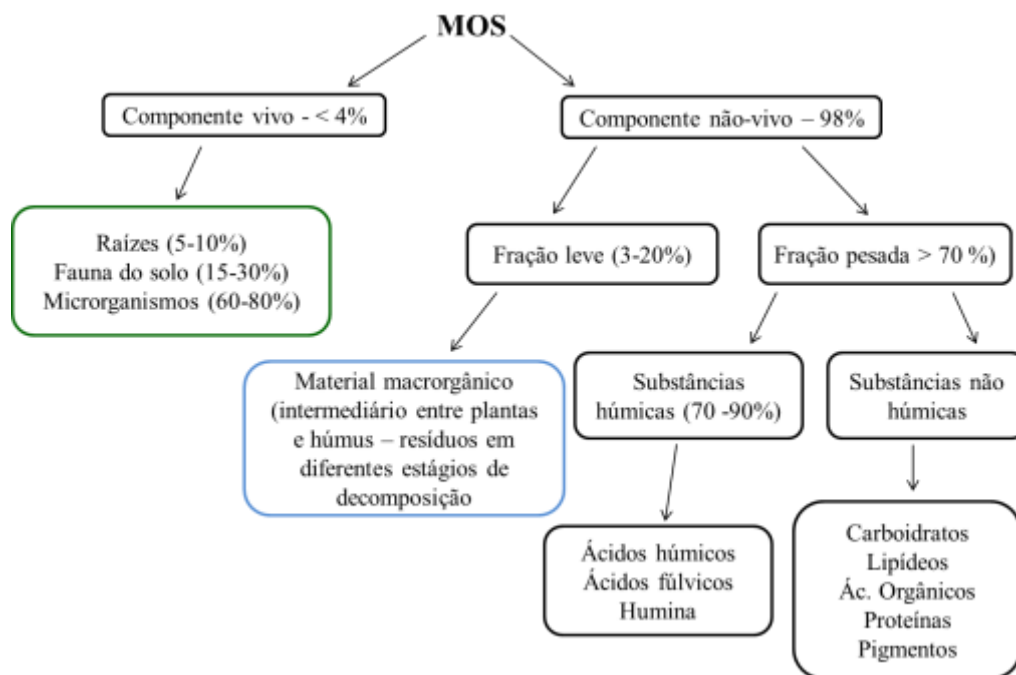


Figura 2. Divisão dos Compartimentos da MOS.

Fonte: Adaptado de Theng et al. (1989)

Os componentes da matéria orgânica são distribuídos em quatro reservatórios por Duxbury et al. (1989) O BIO (biológico) composto pela fauna e pelos microrganismos do solo, e o LAB (lábil) constituído de materiais que estão prontamente disponíveis para a decomposição por ataque microbiano; os quais são considerados como adições primárias de carbono ao solo. E os reservatórios POM (fisicamente protegidos pela estrutura do solo) e COM (quimicamente protegido), que são dotados de mecanismos que os protegem da decomposição microbiana, ou seja, esses dois são considerados mais estáveis no solo.

Com base no grau de estabilidade das frações orgânicas em relação à decomposição microbiana, Baldock e Nelson (2000) estabelecem um terceiro grupo de frações orgânicas e de forma simplificada dividem a MOS em duas frações: lábil e estável. Essas definições são baseadas na taxa de decomposição no solo de um determinado constituinte. A fração lábil é mais propensa ao ataque microbiano, em função de sua localização física e também por sua composição química, a exemplo disso à celulose localizada na matéria orgânica particulada, além de aminoácidos, carboidratos e outros. Já a fração estável, é composta por estruturas químicas mais complexas, atingindo grau de estabilidade maior em relação à fração lábil. São exemplos de fração estável as substâncias húmicas associadas aos minerais, cujos compostos apresentam recalcitrância molecular e atuam na proteção coloidal (Kononova, 1984).

Os compostos orgânicos derivados dos vegetais são de natureza variável e complexa, porém de composição elementar conhecida, constituindo-se de substâncias a base de C, H, O, N, P e S, que compõem as bases estruturais dos tecidos vegetais, como as proteínas, celulose, hemicelulose, amido, pectina, lignina e lipídeos. Apesar da composição elementar dos tecidos vegetais ser a mesma, a proporção de cada elemento é bem variável, o que influencia consideravelmente na velocidade do processo de humificação. Quanto maior a quantidade de compostos de fácil decomposição (carboidratos e proteínas) e menor a de compostos estáveis (lignina), mais acelerado será o processo de humificação (Kononova, 1982).

A quantidade e a qualidade do carbono dos resíduos vegetais que são adicionados ao solo pelos sistemas de produção possuem características diferentes do carbono dos resíduos de ecossistemas naturais, o que diferencia na formação dos compartimentos da MOS (Sá et al., 2001). Os resíduos culturais nos sistemas de produção possuem maiores quantidades de celulose e menores quantidades de lignina, o que favorece a rápida humificação. Em contrapartida, nos ecossistemas naturais os resíduos vegetais possuem maiores quantidades de lignina, o que gera uma taxa lenta de humificação. A diversidade de espécies, além de gerar estágios diferenciados de humificação, em função da variada composição dos resíduos, também gera uma taxa de humificação mais lenta, devido à sua composição (lignina, ceras, gorduras e polifenóis). No SPD, a entrada de compostos orgânicos são mais intensas em função da rotação de culturas com predominância de compostos celulósicos. A decomposição gradual restabelece o fluxo de carbono, proporcionando a redistribuição de compostos orgânicos com diferentes estágios de humificação nos compartimentos da MOS.

2.4.2. Fracionamento da matéria orgânica do solo

A MOS é um conjunto complexo e heterogêneo de materiais orgânicos que diferem na composição química, no grau de disponibilidade para os microrganismos e também na sua função no ambiente (Carter, 2001). Diversos estudos com a MOS tem como base métodos de fracionamento, que podem ser baseados na sua localização na matriz mineral (fracionamento físico por tamanho de partícula), no grau de associação com a fração mineral (fracionamento físico por densidade), ou em características de solubilidade dos compostos orgânicos (fracionamento químico) (Pillon et al., 2002).

Os diferentes métodos de fracionamento da MOS buscam separar frações homogêneas quanto à natureza, dinâmica e função, mas, ao mesmo tempo, suficientemente diferentes entre si (Christensen, 2000). A escolha do método de fracionamento depende do objetivo do estudo, ou seja, caracterização e identificação química dos componentes específicos da MOS, quantificação, ou descrição dos compartimentos da MOS, importantes na ciclagem e liberação de nutrientes às plantas (Collins et al., 1997; Pinheiro et al., 2004; Frazão et al., 2010; Pillon et al., 2011), seja através do fracionamento densimétrico (Christensen, 2001; Pinheiro, 2007; Conceição et al., 2007), granulométrico (Conceição et al., 2005; Loss et al., 2009b) e/ou pelos graus de oxidação do COT (Rangel et al, 2008; Loss et al., 2010a; 2011).

2.4.2.1. Fracionamento químico da matéria orgânica do solo

O fracionamento químico da MOS é uma técnica de extração de um dos constituintes da MOS, as substâncias húmicas (SH). As SH compõem a maior fração da MOS (60-70%), e são caracterizadas como mistura complexa e heterogênea de compostos orgânicos, de coloração escura, elevado peso molecular, com natureza principalmente coloidal, com propriedades ligeiramente ácidas e grande interação com outros componentes do solo (Stevenson, 1994). São separadas com base em características de solubilidade, obtendo-se três principais frações: ácidos fúlvicos (AF), que permanece em solução quando o extrato alcalino é acidificado; ácidos húmicos (AH), solúvel em meio alcalino e insolúvel em meio ácido diluído; e humina (HUM), que representa a matéria orgânica intimamente ligada à fração mineral do solo, e por isso insolúvel (Stevenson, 1994; Canellas et al, 2001; Dick e Martinazzo, 2006). As SH são macromoléculas compostas por estruturas aromáticas e cadeias alifáticas, de peso molecular variável e composição química complexa (Schnitzer, 1991), apresentando-se mais estáveis à degradação química e biológica que a fração leve da MOS.

Os AF são a fração de maior mobilidade, pois têm maior solubilidade, menor polaridade e menor tamanho molecular; além disso, é a fração mais instável do processo de humificação dos resíduos orgânicos componentes da MOS (Benites et al., 2003; Silva e Medonça, 2007; Passos et al., 2007; Dick et al., 2009). Já a fração AH possui estrutura grande

e complexa e participam da maioria das reações que ocorrem no solo, favorecendo a agregação e estabilidade de agregados pela formação de complexos organominerais (Canellas et al., 2000). Os AH são responsáveis pelo aumento da CTC de origem orgânica na superfície de solos com acúmulo de restos vegetais (Benites et al., 2003). O maior conteúdo de AH no solo está relacionado a fertilidade natural e maior teor de bases trocáveis, e pode ser usado como indicador dos efeitos do manejo sobre a fração orgânica do solo (Canellas et al., 2003).

A fração HUM é estruturalmente composta em grande parte por lignina, sendo assim apresenta maior recalcitrância (Tomasi, 2011). Apresenta maior reatividade no solo, e maiores quantidades quando comparada aos AF e AH. Pode representar boa parte do carbono humificado do solo, e contribuir com mais de 50% do carbono na camada de 0-5 cm do solo (Benites et al.; 2003; Dick et al., 2009). O predomínio da fração HUM está relacionado à sua insolubilidade e resistência à biodegradação favorecida pela formação de complexos argilo-húmicos estáveis (Passos et al., 2007; Silva et al, 2011; Fontana et al., 2011a).

Os teores de HUM podem decrescer em sistemas de cultivo que utilizem rotações ou plantas de cobertura com alta relação C/N, em função do maior tempo de decomposição dessas plantas, ocasionando menores taxas de carbono nessa fração. Assis et al. (2006), avaliando sistema de rotação de culturas em plantio direto, observaram menor conteúdo da fração HUM na área de plantio direto rotacionado com tifton, em relação aos outros tratamentos em todas as camadas e classes de agregados avaliadas. Os autores atribuem esse menor conteúdo de HUM, à alta relação C/N do tifton, o que lhe confere um maior tempo de decomposição quando comparada aos outros sistemas.

Para obtenção dessas frações e comparação dos resultados com outros estudos, a metodologia mais utilizada é a proposta pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (Swift, 1996), que foi adaptada por Benites et al. (2003).

Estudos da MOS através da extração e fracionamento de SH tem sido aplicados ao entendimento da pedogênese (Benites et al, 1999; Anjos et al., 2008; Fontana et al., 2008a; 2011b), da melhoria de propriedades físicas do solo (Roth et al, 1992; Souza e Melo, 2003; Passos et al., 2007; Fontana et al, 2010a; Loss et al, 2010b), das interações organo-minerais (Dick et al., 2000) e do impacto de diferentes manejos na qualidade do solo (Mendonza et al., 2000; Cunha et al., 2001; Oliveira Junior et al., 2008; Martins et al., 2009; Fontana et al., 2010b).

Loss et al. (2010b), avaliando a quantificação do carbono das SH em diferentes sistemas de manejo e épocas de avaliação, constataram que o fracionamento químico foi eficiente para identificar mudanças provenientes dos sistemas de manejo e estações do ano sob manejo orgânico. Os autores relatam que o SPD aumentou os teores de carbono da fração AH quando comparado ao preparo convencional do solo, e que este propiciou maiores teores de carbono da fração AF em profundidade.

Outro parâmetro que vem sendo utilizado em estudos da MOS é a relação AH/AF, que tem sido proposto como parâmetro de estabilidade da MOS (Kononova, 1982). Segundo a autora, valores maiores que 1 representam solos férteis e matéria orgânica mais estabilizada, geralmente encontrada em ambientes de clima temperado. Já em ambientes de clima tropical, composto por solos de fertilidade natural baixa, altamente intemperizados, a intensidade do processo de humificação é menor, o que determina o baixo valor para essa relação, ou seja, menores que 1. Tomazi (2011), estudando solo de lavoura cultivada durante 40 anos, observaram que a relação AH/AF foi maior que em ambientes naturais, mesmo apresentando teor de COT menor. De acordo com esse autor, isso indica que o carbono nesse solo apresentou maior estabilidade, além de indicar maior mobilidade na forma de AF.

Portanto, a quantidade de matéria orgânica e a proporção das SH têm sido utilizadas como indicadores de qualidade do solo, em função da forte interação das SH com o material mineral e suas relações com o manejo do solo (Silva, 2005).

2.4.2.2. Fracionamento físico granulométrico da matéria orgânica do solo

Outro método para estudar as frações ou compartimentos da MOS é o denominado de fracionamento físico. Esse método enfatiza o papel das frações minerais na estabilização e transformação da MOS (Christensen, 1992). Alguns estudos mostram que o fracionamento físico reflete mais diretamente a dinâmica da MOS *in situ* quando comparado ao fracionamento químico, pois está mais relacionado com a função e a estrutura da MOS (Christensen, 1992, 1996, 2000; Cambardella e Elliott, 1992; Feller et al., 2000).

O fracionamento granulométrico consiste na separação de duas frações orgânicas: a matéria orgânica particulada (MOP) ou carbono particulado (CO_p) que é separada em peneira de 53µm (tamanho da fração areia), não sendo possível diferenciar a MOP livre da MOP oclusa do solo. O material que fica retido na peneira é identificado como MOP e o que passa é denominado de matéria orgânica associada aos minerais (MOM) ou carbono orgânico associado aos minerais (CO_{am}), o qual corresponde a fração orgânica associada às frações silte e argila do solo (Golchin et al., 1994; Christensen, 1996; Dick et al., 2008).

A fração MOP é considerada um indicador sensível às mudanças provocadas por práticas agrícolas e tem sido utilizada para avaliar alterações no carbono orgânico do solo, em curto e médio prazo (Conceição, 2006; Lima et al., 2008). Já a MOM é menos afetada pelo manejo e uso do solo em curto período de tempo (Bayer et al., 2004; Santos et al., 2012), pois apresenta predominantemente material altamente decomposto e estabilizado, com forte interação com as partículas minerais (silte e argila), exercendo papel significativo na estabilização de microagregados (Cambardella e Elliott, 1992; Baldock e Nelson, 2000; Roscoe et al., 2006).

Um fator importante e que influencia fortemente os teores de carbono em frações lábeis da MOS é a cobertura vegetal. Rossi et al. (2012) observaram que a introdução de braquiária em SPD promoveu efeito positivo sobre os teores de carbono, preferencialmente na forma de MOP, o que pode estar relacionado ao sistema radicular da braquiária, que além de abundante e volumoso apresenta contínua renovação e contribui para elevada adição de material orgânico, conforme relatam Moreira e Siqueira (2002).

A fração particulada do solo é considerada mais sensível as alterações de manejo e uso do solo. Logo esse compartimento pode ser utilizado para avaliar a qualidade de sistemas de manejo em curto período de tempo (Gregorich et al., 2006), em especial quando as alterações no conteúdo de COT ainda não têm grande magnitude (Conceição et al., 2005).

2.5. Atributos Biológicos

Os indicadores biológicos são constituídos por uma gama de componentes que influenciam a qualidade do solo tais como a abundância e subprodutos dos macrorganismos e microrganismos, incluindo bactérias, fungos e artrópodes, cujas funções vitais são influenciadas por fatores ambientais e antrópicos. Como funções incluem-se: a taxa de respiração, taxa de decomposição de resíduos vegetais, o nitrogênio e o carbono da biomassa microbiana (SQI, 1996).

Os invertebrados do solo estão ligados à ciclagem de nutrientes de forma direta, fragmentando e se alimentando da matéria orgânica do solo, ou de forma indireta, regulando as populações de microrganismos no processo de decomposição. A sensibilidade desses organismos aos diferentes manejos reflete claramente o quanto uma determinada prática de manejo pode ser considerada ou não conservativa do ponto de vista da estrutura e fertilidade do solo. Estas características justificam a utilização da fauna de solo como indicadora das modificações do ambiente (Correia, 2002).

2.5.1. Fauna do solo

A biota do solo é composta por microrganismos e organismos maiores, conhecidos como fauna do solo (Figura 3). Ela está intimamente relacionada aos processos de decomposição e ciclagem de nutrientes, que são importantes para manutenção da produtividade do ecossistema. É classificada de diversas formas, sendo uma delas de acordo com o tamanho corporal, em: microfauna, mesofauna e macrofauna (Swift et al., 1979).

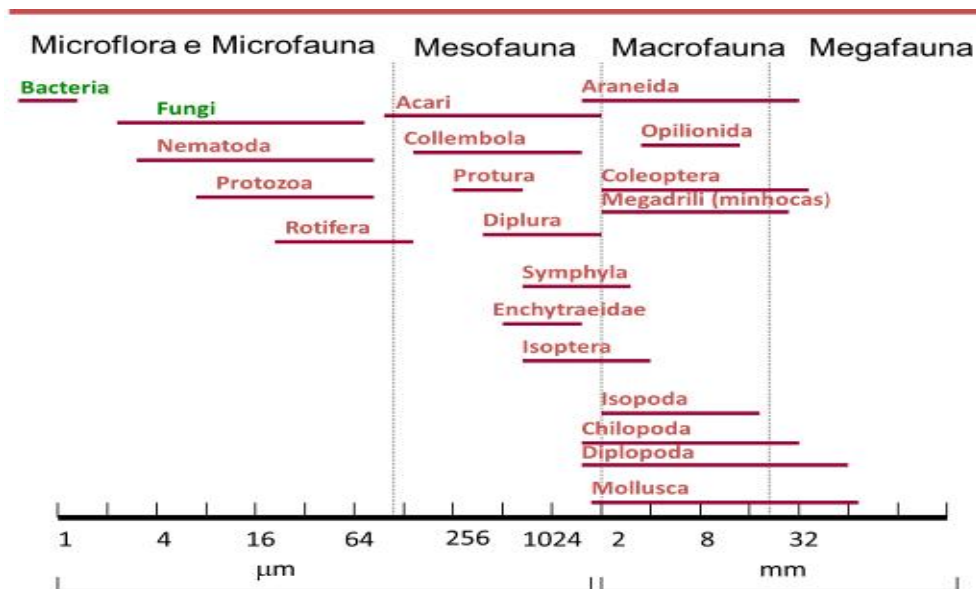


Figura 3. Classificação de tamanho da biota do solo (Swift et al, 1979 modificado).

A microfauna é composta por organismos aquáticos, que vivem no filme de água do solo, com diâmetro corporal variando entre 4 e 100µm. É composta por protozoários, nematóides, entre outros. Atuam indiretamente na ciclagem de nutrientes, regulando a população de bactérias e fungos (Swift et al., 1979; Lavelle, 1997; Correia e Andrade, 1999). Esses organismos obtêm energia e carbono, principalmente, pela decomposição de material vegetal ou da própria matéria orgânica do solo, dessa forma, os microrganismos realizam a movimentação de energia e matéria no sistema solo (Vezzani e Mielniczuk, 2011).

A mesofauna (organismos diâmetro corporal entre 100 µm e 2 mm) pode atuar diretamente ou indiretamente no processo de decomposição da MOS. É composta por animais como colêmbolos, ácaros, díptera, enchytraeidae, isoptera, chilopoda, diplópodes, entre outros (Baretta et al., 2011). Esses animais são extremamente dependentes da umidade do solo, pois se movimentam nos poros formados por organismos da macrofauna e também na interface serrapilheira-solo. Regulam a densidade e distribuição dos microrganismos como fungos e bactérias, que são os decompositores primários da MOS, colaborando assim indiretamente no processo de decomposição. Além disso, produzem galerias, pelotas fecais, criando bioporos que facilitam a circulação de ar, melhorando a permeabilidade e facilitando a penetração das raízes (Assad, 1997; Correia e Oliveira, 2000; Primavesi, 2002).

A macrofauna (organismos com diâmetro corporal entre 2 e 20 mm) é composta por organismos como cupins, formigas, besouros e minhocas, entre outros, possuem uma estreita relação com a mesofauna e os microrganismos modificando suas populações (Lavelle, 1997; Lavelle e Spain, 2001; Aquino et al., 2008). Essa relação fica facilmente visível quando as minhocas, por exemplo, ao se alimentar e se mover abrem galerias dentro do solo, por onde levam resíduos da superfície para o interior do solo, onde esses podem ser decompostos pelos microrganismos. Além disso, os organismos da macrofauna podem fragmentar o material

vegetal, deixando-os menores, aumentando assim a superfície de contato, facilitando a ação dos microrganismos no processo de decomposição e mineralização da MOS.

Além dessa classificação, a fauna do solo, também pode ser agrupada quanto aos seus aspectos funcionais, ou seja, sua preferência alimentar. Podendo ser dividida de forma geral em: saprófagos, predadores, micrófagos, fitófagos e insetos sociais (Assad, 1997; Baretta et al., 2011). Os saprófagos, conhecidos também como decompositores, se alimentam diretamente de resíduos de plantas, fragmentando-os. Entre os organismos que se enquadram nesse grupo estão: Diplopoda, Isopoda, Blattodea, entre outros. Os predadores atuam no topo da cadeia alimentar edáfica, se alimentando de outros organismos menores. É o caso dos grupos Araneae, Chilopoda e Pseudoscorpionida.

Os fitófagos se alimentam da seiva das plantas. Alguns se alimentam de raízes como as larvas de coleóptera, nematóides. Os micrófagos, geralmente são microartrópodes, que regulam a população microbiana, como os colêmbolos. E os insetos sociais, como as formigas e cupins, que possuem hábitos sociais, ou seja, apenas um pequeno grupo é capaz de reproduzir, enquanto os demais são responsáveis por cuidar da colônia. Esses organismos podem tanto atuar como saprófagos como predadores (Assad, 1997). Além disso, em conjunto com as minhocas, são conhecidos como “Engenheiros do Ecossistema”, por serem capazes de alterar o ecossistema, modificando a estrutura do mesmo, sem prejudicar os outros organismos. A abertura de galerias dentro do solo, influenciando na aeração e infiltração de água e a produção de coprólitos que podem influenciar na fertilidade do solo e estruturação, são exemplos de estruturas produzidas por esses organismos, conhecidas como estruturas biogênicas (Lavelle, 1997).

Segundo Silva et al. (2002), o SPD, quando adotado corretamente, apresenta melhores condições para o estabelecimento da comunidade da fauna do solo quando comparado ao SPC, proporcionando aumento da biodiversidade do solo. Esse fato está relacionado ao estabelecimento da palhada na superfície do solo, o que “imita” um sistema não perturbado, favorecendo o restabelecimento da comunidade edáfica e conseqüentemente a sustentabilidade ecológica do agroecossistema.

Em estudo realizado em Campinas, no IAC – SP, comparando SPD com diferentes tempos de implantação, com SPC, Santos et al. (2005) observaram através de análise discriminante canônica que o eixo 1 claramente separou as áreas de SPD das sob SPC. Nesse mesmo estudo, os autores concluem que o maior tempo de adoção do SPD favoreceu a riqueza de grupos de fauna e a diversidade, em que o eixo 2 da análise separou o SPD implantado há mais tempo do mais recente.

2.5.2. Relação da fauna do solo com a cobertura vegetal

A cobertura vegetal pode influenciar na composição da fauna do solo, pois é o habitat para uma gama de organismos responsáveis por inúmeras funções. Acredita-se que a cobertura vegetal, seja ela viva ou morta, atue semelhantemente à serapilheira nas matas, melhorando a infiltração de água, mantendo a umidade e a temperatura e fornecendo matéria orgânica. A diversidade da fauna edáfica está relacionada com a qualidade e quantidade de aporte orgânico que é depositado no solo, sob a forma de resíduos e exsudatos das raízes das plantas, que oferecem recursos alimentares e também micro habitats, favorecendo a sobrevivência e reprodução desses organismos, além de um diverso número de grupos funcionais (Lavelle et al., 1992; Lavelle, 1996).

As características dos resíduos (qualidade do material), ou seja, a composição química do mesmo, principalmente quanto aos teores de lignina e polifenóis, e as relações entre os constituintes, como relação C/N, C/P, lignina/N, polifenóis/N, influenciam na composição da cadeia alimentar e conseqüentemente na taxa de decomposição e ciclagem de

nutrientes (Carvalho et al., 2009; Matos et al., 2011). Resíduos que possuem baixas concentrações de N e P e altas concentrações de lignina e polifenóis apresentam baixa taxa de decomposição, ou seja, é necessário um tempo maior para decompor esse material e liberar nutrientes (Marcelo et al., 2012). No processo de decomposição, os carboidratos (celulose e hemicelulose), são os primeiros a serem decompostos, por serem moléculas mais simples, enquanto a lignina possui uma lenta decomposição, por possuir cadeias aromáticas em sua estrutura, sendo um material mais recalcitrante, em relação aos carboidratos.

Segundo Bardgett (2005), resíduos com baixa relação C/N podem estimular a atividade de bactérias e seus predadores, como os nematoides. Em contrapartida, resíduos com elevada relação C/N podem estimular a atividade de fungos e seus predadores, como colêmbolas e ácaros.

As transformações desses materiais são realizadas pelos organismos da fauna do solo e microrganismos. Alguns autores definem a maior riqueza vegetal como fator chave para o aumento da diversidade da biota do solo, em função da maior quantidade de recursos alimentares e microhabitats (Spehn et al., 2000; Vieira e Mendel, 2002; Maestri et al., 2013). Já outros autores, atribuem o aumento da diversidade da biota a composição química do material vegetal, que influencia na facilidade de decomposição e a palatabilidade do material vegetal (Bardgett, 2005; De Deyn et al., 2004; Santos et al., 2008; Huerta et al., 2005; Mutema et al., 2013).

Estudando o efeito de plantas de cobertura das famílias leguminosas e gramíneas Santos et al. (2008) observaram maior riqueza de espécies de grupos da fauna do solo no tratamento com braquiária (gramínea) e maior densidade de organismos nos tratamentos com leguminosas. Os autores atribuem esse fato à menor relação C/N de plantas leguminosas, ao contrário das gramíneas que possuem alta relação C/N, necessitando de grupos específicos para degradar esse material. Em geral, os materiais de fácil decomposição atraem maior número de grupos, enquanto os mais recalcitrantes, não são tão palatáveis, com isso menor número de grupos são responsáveis pela sua decomposição.

3. CAPÍTULO I

**ESTOQUE DE CARBONO E NUTRIENTES E ATRIBUTOS
FÍSICOS DO SOLO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO COM
DIFERENTES TEMPOS DE IMPLANTAÇÃO EM GUAÍRA, PR**

3.1. RESUMO

Gerenciar adequadamente os recursos naturais e simultaneamente mantê-lo produtivo para as gerações futuras é um grande desafio. Em função disso, sistemas de manejo conservacionistas, como o sistema de plantio direto (SPD), estão sendo implantados com objetivo de conservar a qualidade do solo, diminuindo os gastos com insumos externos, em paralelo a melhoria de sua qualidade química, física e biológica. O trabalho foi desenvolvido em sistemas agrícolas particulares, explorados comercialmente no município de Guaíra – PR. Foram avaliadas três áreas com diferentes tempos de adoção do SPD, por 7, 14 e 23 anos sob sucessão das culturas soja (verão) e milho/trigo (inverno) (SPD7, SPD14 e SPD23 respectivamente), e uma área de Floresta Atlântica como referência. As amostragens foram feitas nas épocas seca (setembro/ 2013) e chuvosa (fevereiro/2014), para avaliar o comportamento dos atributos químicos e físicos do solo e os estoques de carbono e de nutrientes, em função de diferentes tempos de implantação de sistema de plantio direto e da variação sazonal. Foram analisados: atributos químicos e estoques de carbono e nutrientes (Ca, Mg, K e P), análise granulométrica, estabilidade de agregados, densidade do solo e da partícula, umidade atual do solo, e calculado o volume total de poros, nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m. Os dados atenderam às pressuposições da análise paramétrica e as comparações foram realizadas com a aplicação do teste de Tukey a 5% de probabilidade. A área de Floresta Atlântica não foi utilizada na análise estatística para comparar quantitativamente em relação às áreas produtivas, visto que é um sistema natural, sendo usada como referência qualitativa. De modo geral, a variação nos atributos químicos se relacionou com a cronosequência do SPD e a época de amostragem, que também refletiu a cobertura do solo. A sucessão soja, milho/trigo contribuiu no aumento dos teores e estoques de carbono, cálcio e fósforo, na cronosequência do sistema de plantio direto. Embora sem diferença significativa entre as áreas, os valores observados de densidade do solo em profundidade na área SPD23, com maior tempo de adoção do sistema, indicam camadas compactadas, que devem ser monitoradas.

Palavras-chave: Atributos edáficos. Sistema de plantio direto. Sucessão de lavouras.

3.2. ABSTRACT

To manage properly the natural resources and at the same time keep it productive to the future generations is a big challenge. As a result, conservation management systems, such as no-tillage system (SPD), are being implemented in order to conserve the soil quality, reducing the costs of external inputs, in parallel to improvements in their chemical, physical and biological quality. This work was developed in private rural systems, explored commercially in Guaíra municipality – Paraná State. There were evaluated three different areas with adoption time of NTS of 7, 14 and 23 years under a succession of soybean crop (summer) and corn/wheat crops (winter) (NTS7, NTS14 and NTS23, respectively), and an area of Atlantic Forest as reference. The samples were taken in the dry (September/2013) and rainy seasons (February/2014), to evaluate the behavior of the soil chemical and physical properties, and the carbon and nutrients stocks, as a function of no-tillage system chronosequence and seasonal variation. There were analyzed: chemical properties and stocks of carbon and nutrient (Ca, Mg, K and P), particle size, aggregate stability, actual soil moisture, and calculated the total pore volume, in the 0-0.1, 0.1-0.2 and 0.2-0.3 m layers. The data met the assumptions of parametric analysis and comparisons were made with the Tukey test at 5% probability. The Atlantic Forest area was not used in the statistical analysis to quantitatively compare in relation to production areas, since it is a natural system, being used only as a qualitative reference. In general, the variation in chemical properties related to the NTS chronosequence and the sampling season, which also reflected the soil coverage. The soybean, corn/wheat succession contributed to increased the levels and stocks of carbon, calcium and phosphorus, in the no-tillage system chronosequence. Although with no significant difference between the areas, the bulk density values observed in depth in the NTS23 area, with longer time of the system adoption, indicate compacted layers, that should be monitored.

Keywords: Edaphic attributes. No-tillage system. Crops succession.

3.3. INTRODUÇÃO

O manejo de sistemas produtivos em forma sustentável vem sendo apontado, cada dia mais, como um desafio da agricultura moderna para aliar produtividade à conservação do meio ambiente. A disponibilidade de nutrientes e o manejo adequado do solo são aspectos fundamentais na melhoria da qualidade dos solos. Estudos de práticas agrícolas que contemplem a dinâmica de nutrientes e o manejo da fertilidade do solo em conjunto com o desenvolvimento de plantas podem otimizar o uso de insumos, fertilizantes e corretivos, tornando o sistema ambientalmente sustentável (Goedert e Oliveira, 2007).

O SPD é caracterizado pelo não revolvimento do solo, pela rotação de culturas e por manter o solo coberto permanentemente, o que após algum tempo de implantação fornece benefícios ao agroecossistema, como a adição constante de matéria orgânica ao solo. A MOS é um componente fundamental para a capacidade produtiva dos solos, pela influência sobre a disponibilidade de nutrientes, capacidade de troca catiônica do solo, complexação de elementos tóxicos, agregação, infiltração, retenção de água, aeração e atividade microbiana.

O SPD, também pode alterar alguns atributos físicos do solo, como sua densidade, porosidade e estabilidade dos agregados, sendo esses atributos utilizados para avaliar impactos de uso sobre a qualidade do solo.

Por outro lado, vários autores relatam aumento da densidade do solo e redução da porosidade total em sistemas de manejo de longa duração sem o revolvimento do solo, entre eles Tormena et al. (1998) e Stone et al. (2006).

Portanto, a avaliação de alterações nas propriedades do solo pode ser uma importante ferramenta para identificar o estado atual de um agroecossistema e, dessa forma, alertar para riscos de degradação e prevenção de situações futuras de perda da qualidade do solo, especialmente quando adotada como referência a vegetação nativa original.

Este capítulo tem por objetivo avaliar a variação de atributos químicos e físicos do solo e dos estoques de carbono e nutrientes, em áreas com diferentes tempos de implantação de sistema de plantio direto, em uma cronosequência, e a variação sazonal desses atributos, em uma propriedade rural no município de Guairá, no Paraná.

3.4. MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1. Localização, Clima e Solo da Área de Estudo

O estudo foi realizado em sistemas produtivos explorados comercialmente e conduzidos em propriedade rural particular, com diferentes tempos de implantação. As áreas localizam-se na comunidade Maracajú dos Gaúchos, no município de Guaíra – PR (Figura 1).

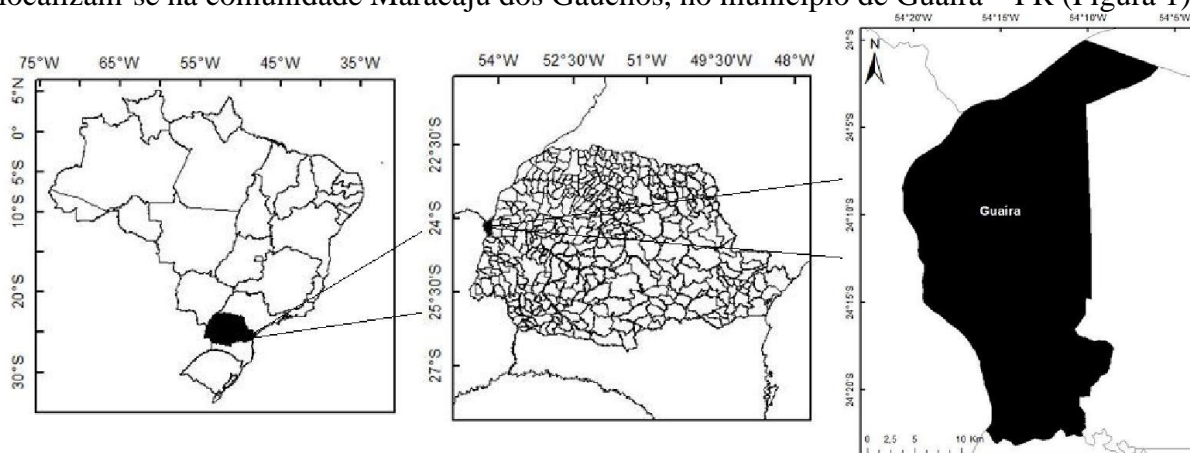


Figura 4. Localização do município de Guaíra-PR.

Fonte: Jean Rosset.

O clima da região segundo a classificação de Köppen é subtropical (Cfa), com temperaturas mínimas de 16°C e máximas de 28°C, com precipitação média anual de 1600 mm (IAPAR, 2000). O solo das áreas estudadas foi classificado como Latossolo Vermelho Eutroférrico típico com textura muito argilosa (EMBRAPA, 2013).

3.4.2. Sistemas Avaliados e Histórico de Uso

Foram avaliadas três áreas manejadas e uma de mata nativa, que é hoje reserva natural, totalizando quatro áreas, em delineamento inteiramente casualizado. As áreas manejadas foram ordenadas em uma cronosequência, em função do tempo de adoção do SPD, em: SPD₇ – 7 anos (fase de transição), SPD₁₄ – 14 anos (fase de consolidação) e SPD₂₃ – 23 anos (fase de manutenção), sendo o tempo de adoção considerado como tratamentos para esse estudo.

Como histórico regional, no início da década de 1970, as florestas nativas foram desmatadas e convertidas para lavoura, usando manejo com intenso revolvimento do solo para o seu preparo e queima da palhada (sistema de plantio convencional- SPC). Na década de 1990, surgiram às primeiras áreas sob SPD e esse sistema se consolidou na região no início da década de 2000 (informação pessoal).

Após a conversão do sistema de plantio convencional (SPC) em SPD todas as áreas foram cultivadas com soja (verão) e milho/trigo (inverno) (Tabela 2). Nessas áreas foi feita adubação nos últimos cinco anos de cultivo em sucessão das culturas de soja, milho/trigo nas seguintes proporções: 270 kg ha⁻¹ de 02-20-18 e inoculação com *Bradyrhizobium japonicum* (inoculante líquido: 150 mL para cada 50 kg de sementes) e 270 kg ha⁻¹ da fórmula 10-15-15, respectivamente; além da aplicação de calcário a cada quatro anos, na dose 1,7 Mg ha⁻¹ (Tabela 3). A exceção da área SPD₁₄, na qual após a conversão do sistema de semeadura (SPC/SPD – 1998) não houve correção do solo (informação pessoal).

Tabela 2. Histórico de uso¹, com as respectivas épocas de implantação de cada sistema de manejo na área de estudo em Guaíra-PR.

Área	Cobertura/Manejo	Época	Tempo (anos)
SPD ₇	Floresta Atlântica	1970 – 1974	4
	SPC	1974 – 2006	32
	SPD	2006 – 2013	7
SPD ₁₄	Floresta Atlântica	1970 – 1974	4
	SPC	1974 – 1999	25
	SPD	1999 – 2013	14
SPD ₂₃	Floresta Atlântica	1970 – 1974	4
	SPC	1974 – 1990	16
	SPD	1990 – 2013	23

SPC: sistema de plantio convencional; SPD: sistema de plantio direto; SPD₇: sistema de plantio direto (7 anos); SPD₁₄: sistema de plantio direto (14 anos); SPD₂₃: sistema de plantio direto (23 anos).

¹ Informação pessoal dos proprietários da área de estudo.

Tabela 3. Histórico e descrição dos sistemas de plantio direto e práticas culturais nas áreas de estudo, Guaíra-PR.

Característica	SPD 7	SPD 14	SPD 23	Mata
Tempo de Implantação	2006	2000	1990	-
Proprietário	Airton Groff	Isac Sérgio Rosset.	Maury Luiz Lovera	
Elevação	270 m de altitude	298 m de altitude	297 m de altitude	295 metros de altitude
Tamanho da área	20 ha	20 ha	50 ha	57 ha
Culturas	Soja (verão) Milho ou trigo (inverno)	Soja (verão) Milho ou trigo (inverno)	Soja (verão) Milho ou trigo (inverno)	Floresta Atlântica (Floresta Estacional Semidecidual)
Defensivos	Herbicidas, inseticidas e fungicidas (para todas as culturas)	Herbicidas, inseticidas e fungicidas (para todas as culturas)	Herbicidas, inseticidas e fungicidas (para todas as culturas)	-
Adubações	Soja 270 kg/ha (02-20-18) + inoculação Milho/trigo 270 kg/ha (10-15-15)	Soja 270 kg/ha (02-20-18) + inoculação Milho/trigo 270 kg/ha (10-15-15)	Soja 270 kg/ha (02-20-18) + inoculação Milho/trigo 270 kg/ha (10-15-15)	-
Calagens	Calcário a cada 4 anos (1,7 Mg/ha)	Calcário a cada 4 anos (1,7 Mg/ha)	Calcário a cada 4 anos (1,7 Mg/ha)	-
Aração e gradagem	-	-	-	-
Nº plantas+espaçamento	Milho (5 p/m esp. 0,90 m) Soja (13 p/m esp. 0,45 m)	Milho (5 p/m esp. 0,90 m) Soja (13 p/m esp. 0,45 m)	Milho (5 p/m esp. 0,90 m) Soja (13 p/m esp. 0,45 m)	-

3.4.3. Coleta e Preparo das Amostras

Para análise dos atributos químicos e físicos do solo foram coletadas amostras de terra em duas épocas, para avaliar a influência da umidade do solo e da cobertura vegetal sobre os atributos edáficos. A primeira coleta foi realizada na época seca (setembro/2013) após a colheita do milho, e a segunda coleta na época chuvosa (fevereiro/2014), após a colheita da soja. A distribuição de chuvas no período é apresentada na Figura 5. Em ambas as épocas, foram coletadas amostras em área vizinha com cobertura de Floresta Atlântica, utilizada como referência.

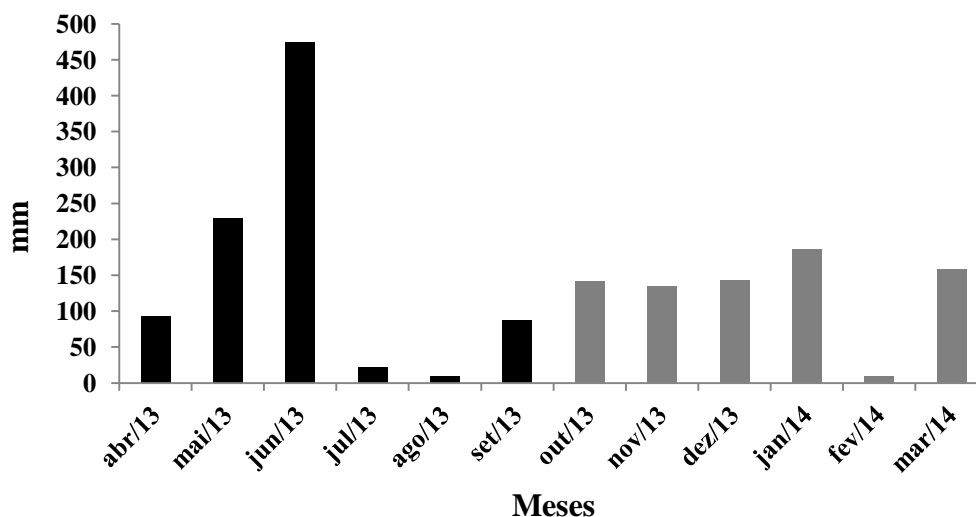


Figura 5. Precipitação mensal nas épocas de coleta (seca e chuvosa). Época seca (abril a setembro/2013) e época chuvosa (outubro/2013 a março/2014) em Guaíra, PR.

Em cada área, em pontos representativos, foram delimitadas três glebas de 1000 m², onde foram demarcados três pontos, totalizando nove pontos por área em que cada ponto representou uma repetição. Nos locais de amostragem foram abertas mini trincheiras com dimensões aproximadas de 25 x 20 cm, e nestas, coletadas amostras de terra em três profundidades (0-10, 10-20 e 20-30 cm). Os locais de amostragem foram os mesmos para análise da macrofauna edáfica. Na mesma trincheira também foram retiradas amostras indeformadas para análise de agregados. Para a determinação dos atributos químicos do solo, foram coletadas amostras de terra, com quantidade em torno de 0,5 kg nas três profundidades. As amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas por peneira de 2 mm de diâmetro, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA).

3.4.4. Caracterização Analítica

a) Análises químicas

Foram quantificados os atributos: pH em água, bases trocáveis (Ca⁺², Mg⁺², K⁺, Na⁺), Al⁺³ trocável, acidez potencial (H+Al) e P assimilável. As análises foram realizadas segundo método da Embrapa (1997) e o carbono orgânico total (COT) pelo método de Yeomans & Bremner (1988).

b) Estoque de Ca, Mg, P, K e Carbono

O estoque de carbono do solo (ECS) foi obtido pela soma dos estoques de cada camada de solo, considerando no cálculo os valores médios de carbono orgânico e densidade do solo das respectivas camadas. O estoque de carbono de cada camada correspondeu ao

produto do teor de carbono do solo (g.kg^{-1}) pela densidade do solo (Mg.m^{-3}) e pela profundidade da camada amostrada (cm), conforme a seguinte fórmula:

$$\text{ECS} = \text{C} \times \text{Ds} \times \text{E}/10$$

em que:

ECS = estoque de carbono do solo (Mg. ha^{-1});
 C = teor de carbono orgânico do solo (g. kg^{-1});
 Ds = densidade do solo (Mg.m^{-3}); e
 E = espessura da camada (m)

Os estoques dos nutrientes Ca, Mg, K e P, em cada profundidade, foram calculados de acordo com a equação de Ellert e Bettany (1995):

$$\text{EE} = \text{CE} \times \text{Ds} \times \text{E} \times 10$$

onde:

EE = estoque do elemento (kg ha^{-1});
 CE = é o teor do elemento no solo (mg kg^{-1});
 Ds = a densidade do solo (Mg m^{-3});
 E = a espessura da camada (m).

c) Análise granulométrica

Uma sub-amostra da TFSA foi dispersas com $\text{NaOH } 1 \text{ mol L}^{-1}$ e agitadas, em baixa rotação, por 16 horas, conforme modificação proposta por Rezende (1979). O teor de argila total foi determinado na suspensão, pelo método da pipeta (Day, 1965). As frações de areia grossa e areia fina foram separadas por tamisação, em peneiras de malha 0,2 e 0,053 mm, respectivamente. O silte foi obtido por diferença. A análise granulométrica das áreas é apresentada na Tabela 4, que identificou a classe textural como muito argilosa, com teores superiores a 600 g. kg^{-1} para todos os tratamentos e profundidades.

Tabela 4. Composição textural do solo (g.kg^{-1}) encontradas nos diferentes tratamentos nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm.

Área	Argila	Areia	Silte	Classe Textural
0-10 cm				
SPD7	643	202	155	Muito argilosa
SPD14	692	65	243	
SPD23	633	121	246	
Floresta Atlântica	701	91	209	
10-20 cm				
SPD7	643	190	167	Muito argilosa
SPD14	719	87	194	
SPD23	672	108	221	
Floresta Atlântica	681	96	223	
20-30 cm				
SPD7	664	183	153	Muito argilosa
SPD14	719	77	204	
SPD23	647	111	242	
Floresta Atlântica	705	103	191	

SPD₇ - sistema de plantio direto 7 anos; SPD₁₄ - sistema de plantio direto 14 anos; SPD₂₃ - sistema de plantio direto 23 anos.

d) Densidade do solo

A amostragem para a determinação da densidade do solo foi realizada com o auxílio do anel de Kopecky, segundo Embrapa (1997). A amostra após coletada foi seca em estufa a 105-110°C, até obtenção de massa constante. A densidade foi calculada pela expressão:

$$D_s = M_s/V_t$$

Onde D_s = densidade do solo, M_s = Massa do solo seco a 105-110°C, V_t = Volume do anel de Kopecky. Os resultados foram expressos em $Mg\ m^{-3}$.

e) Densidade de partículas

A densidade da partícula foi determinada pelo método do balão volumétrico com álcool de acordo com Embrapa (1997).

f) Volume total de poros

O volume total de poros (VTP), foi determinado de acordo com a seguinte expressão:

$$VTP = [1 - (D_s / D_p)] \times 100$$

Onde: VTP = volume total de poros (%)

D_s = densidade do solo ($Mg.m^{-3}$)

D_p = densidade da partícula ($g.cm^{-3}$)

g) Umidade atual do solo

A umidade do solo, determinada em amostras mantidas com a umidade de campo, foi calculada pela expressão:

$$U = ((M_u - M_s)/M_s) \times 100$$

Onde: U = umidade atual do solo (%)

M_u = massa de solos úmido (g)

M_s = massa do solo seco (g)

g) Estabilidade de agregados

Para a distribuição de agregados estáveis em água foi usado o método de Yooder, segundo Embrapa (1997).

As amostras indeformadas foram passadas por peneiras de 9,70 e 4,00 mm de diâmetro de malha. Após esta etapa foram pesadas 25 gramas de agregados que ficaram retidos na peneira de 4,00, sendo transferidos para uma peneira de 2,00 que compõe um conjunto de peneiras com diâmetro de malha decrescente, a saber: 2,00; 1,00; 0,50; 0,25 e 0,105 mm. Os agregados colocados na peneira de 2,00 mm foram umedecidos com auxílio de um borrifador, e posteriormente o conjunto de tamises foi submetido à tamisação vertical via úmida por 15 minutos no aparelho de Yooder (1936). Transcorrido este tempo, o material retido em cada peneira foi retirado, separado com o auxílio de jato d'água, colocado em placas de petri previamente pesadas e identificadas, sendo levado à estufa a 60°C até a obtenção de massa constante. Após a secagem, obteve-se a massa dos agregados retida em cada peneira.

A partir da massa de agregados foram calculados o diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados, segundo Embrapa 1997.

O DMP foi calculado de acordo com a seguinte expressão:

$$DMP = \sum_{X=1} x_i y_i$$

Onde:

i = intervalo de classe: $8,0 \geq X > 2,0$ mm; de $2,0 \geq X > 1,0$ mm; de $1,0 \geq X > 0,5$ mm; de $0,5 \geq X > 0,25$ mm e de $0,25 \geq X > 0,105$ mm;

x_i = é o diâmetro das classes (mm);

y_i = é a razão de massa de agregados dentro da classe (x_i) e a massa total de agregados.

O DMG foi calculado de acordo com a seguinte expressão:

$$\text{DMG} = \frac{\sum w_i \ln x_i}{\sum w_i}$$

Em que:

w_i = massa dos agregados de cada centro de classe (g);

\ln = logaritmo natural de x_i ;

x_i = diâmetro do centro de classe (mm).

Foi calculado o índice de estabilidade de agregados (IEA), para quantificar a quantidade de agregados iguais ou maiores à 0,25 mm, após tamisamento e determinação das diferentes classes de agregados. Logo, quanto maior a quantidade de agregados menores que 0,25 mm, menor o IEA.

O IEA foi calculado de acordo com a seguinte expressão:

$$\text{IEA} = \left\{ \frac{\text{P.A} - \text{wp}_{<0,25}}{\text{P.A}} \right\} * 100$$

Em que:

PA = Peso da amostra;

$\text{wp}_{<0,25}$ corresponde ao peso dos agregados de classe menor que 0,25 mm, dado em gramas (Castro Filho, 1998).

3.4.5. Análise dos Resultados

Os resultados foram analisados quanto à normalidade e homogeneidade dos dados por meio dos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Como os resíduos de cada tratamento são provenientes de uma distribuição normal e as variâncias são homogêneas, adotou-se o método de análise estatística paramétrica, em delineamento inteiramente casualizado com arranjo fatorial (2 épocas - seca e chuvosa, 3 tratamentos - tempo de implantação do SPD, e 9 repetições). Os resultados foram comparados entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, com auxílio do programa estatístico R.

A área de Floresta Atlântica não foi utilizada na análise estatística para comparar quantitativamente em relação às áreas produtivas, visto que é um sistema natural, sendo usada porém como referência qualitativa.

3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1. Atributos Químicos do Solo

De maneira geral foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos e épocas de amostragem com relação aos atributos químicos do solo. Nas tabelas 5, 6 e 7 são apresentados os valores médios de nove repetições dos atributos químicos de solo, pH, Ca, Mg, Na, K, P, H+Al, Al, valor S, T e V%, e COT, das áreas estudadas, em três profundidades de amostragem, 0-10, 10-20 e 20-30 cm.

Os valores de pH para todas as áreas, nas duas épocas de amostragem tenderam a variar dentro da faixa de 5,02 a 6,42, caracterizando o solo como moderadamente ácido (Freire et al., 2013). Foram observadas diferenças somente entre as épocas de amostragem, onde valores menores de pH foram encontrados nas áreas SPD7 e SPD23 na camada de 0-10 cm, na época chuvosa. Esse padrão pode estar relacionado a maior perdas de bases, apesar de a época chuvosa ter apresentado menor valor de precipitação total, a mesma foi uniforme em todos os meses, exceto fevereiro, provendo a lixiviação dos nutrientes e consequentemente a acidificação do solo. Outro fator a ser considerado é a cobertura do solo, que na época seca era a palhada da cultura do milho, que produz maior quantidade de resíduos vegetais e com maior relação C/N quando comparada com a soja, que era a cobertura da época chuvosa. A alta relação C/N faz com que essa cobertura tenha um processo de decomposição mais lento, permanecendo mais tempo sobre a superfície do solo, evitando o contato direto da chuva com o mesmo, e consequentemente diminuindo o processo de perda de bases.

Comparando às áreas manejadas, observou-se maior acidez potencial (H + Al) na área SPD14, em todas as profundidades avaliadas, e na época seca (sob palhada do milho). Esse fato está relacionado à ausência de correção do solo após a implantação do SPD, no ano de 1998. Rosset (2015), estudando as mesmas áreas, encontrou o mesmo padrão, com aumento da acidez potencial e redução do pH na área SPD14, quando comparada as demais áreas.

A decomposição dos resíduos vegetais constitui um dos principais processos de adição de íons H⁺ ao solo, por meio da liberação de cargas variáveis provenientes dos radicais carboxílicos e fenólicos das substâncias húmicas, aumentando a acidez do solo em intensidade variável, dependendo da quantidade e qualidade da matéria orgânica. Outro processo que influencia na diminuição do pH é a troca iônica que ocorre entre as raízes das plantas e os colóides do solo, onde as plantas ao absorverem os íons Ca, Mg e outras bases passam a liberar íons H⁺ na solução, aumentando a acidez do solo (Barbosa Filho et al., 2005). Os baixos valores de pH do solo na área SPD14 conduzem aos elevados valores de H + Al nesta área, atingindo o valor de 8,90 cmolc. dm⁻³ na camada de 20-30 cm.

A acidez potencial pode ser prejudicial ao desenvolvimento das plantas em sistemas produtivos. Portanto, segundo Rheinheimer et al. (1998), sistemas conservacionistas de manejo, baseado no maior aporte de matéria orgânica elevam a acidez potencial no processo de mineralização da mesma. Paralelo a esse processo, ocorre a liberação de nutrientes essenciais às plantas, como N, P, S, K, Ca, Mg e micronutrientes (Barreto et al., 2006). Sendo assim, apesar de proporcionar maior acidez potencial aos solos, o maior aporte de MO atua sobre processos fundamentais para a ciclagem de nutrientes.

Comparando as áreas estudadas, foram verificados maiores teores de Ca na área SPD23 em todas as profundidades. Siqueira Neto (2006) encontrou o mesmo padrão desse estudo, com maiores teores de Ca nas áreas com maior tempo de uso em SPD (12 anos). A liberação ou imobilização do Ca é influenciada pela mineralização da MO, que disponibiliza bases antes imobilizadas nos tecidos vegetais para a solução do solo (Souza et al., 2007).

Quando se comparam as épocas de coleta, observa-se a redução dos teores de Ca e K para época chuvosa na área SPD23 e SPD7, respectivamente, quando comparada à época seca na profundidade de 0-10 cm. Este resultado pode ser explicado pela lixiviação de nutrientes favorecida pelas chuvas, pela maior utilização no período chuvoso, além da exportação de nutrientes pela colheita.

Para o teor de P no solo, apenas para a profundidade de 20-30 cm não foram verificadas diferenças significativas entre as áreas manejadas. Para a profundidade de 0-10 cm, comparando as áreas, o maior teor de P foi encontrado em SPD23 em ambas as épocas de coleta (11,61 e 23,50 Mg dm⁻³). Avaliando o efeito da sazonalidade e cobertura, os menores teores de P foram encontrados na época seca para todas as áreas manejadas. Na profundidade de 10-20 cm foram observados maiores valores de P na área SPD14 (18,83 Mg dm⁻³). Esse comportamento pode ser atribuído às adubações fosfatadas realizadas anualmente nos cultivos de soja (verão) e milho (inverno), além da baixa fertilidade natural do solo em relação ao P, como pode ser observado na área de mata.

Em relação à sazonalidade e cobertura vegetal, os menores teores encontrados na época seca (palhada de milho), podem estar associados a maior utilização deste nutriente pela cultura do milho. Segundo Corrêa et al. (2008), embora as exigências do milho em P sejam em quantidades bem menores que as em N e K, as doses normalmente recomendadas são altas, devido à baixa eficiência (20-30%) de aproveitamento desse nutriente pela cultura, decorrente da alta capacidade de adsorção do fósforo adicionado ao solo, reduzindo sua disponibilidade às plantas. Este aspecto é especialmente importante no solo da área de estudo, um Latossolo Vermelho Eutroférico típico, cuja classificação indica elevados teores de óxidos de ferro. Além disso, plantas de desenvolvimento intenso e de ciclo curto, como o milho, requerem maior nível de P em solução e reposição mais rápida do P-adsorvido (Bastos et al., 2010).

Araújo (2000), estudando o impacto do cultivo nos atributos químicos e na agregação de Latossolo Vermelho Distrófico no noroeste do Paraná, e Siqueira Neto (2006), avaliando os estoques de carbono e nitrogênio do solo em sistemas com diferentes usos no Cerrado Goiano, encontraram maiores teores de P no solo das áreas manejadas e valores significativamente superiores àqueles encontrados na área de mata nativa.

Ao comparar as áreas, observam-se maiores teores de COT nas áreas com maior tempo de implantação do SPD (SPD14 e SPD23), sendo os maiores valores encontrados na camada superficial do solo (0-10 cm), variando de 15,38 a 22,98 g kg⁻¹. A camada de 10-20 cm também apresentou o mesmo padrão, com valores variando de 13,70 a 17,81 g kg⁻¹. Estudos realizados por Sá et al. (2004) mostraram que após cinco anos, o SPD começa a acumular carbono orgânico no solo, onde a imobilização do nitrogênio aproxima-se da mineralização, originando estruturas mais estáveis de formação da matéria orgânica do solo. Dalchiavon et al. (2012) relatam incremento nos teores das bases trocáveis e fósforo, principalmente nas camadas superficiais com o decorrer do tempo de implantação do SPD. Além disso, tem-se obtido relações significativas entre o tempo de adoção do SPD e estoques de C do solo (Umakant; Ussiri; Lal, 2010).

Quando se comparam as épocas de coleta, a área SPD23 apresentou os menores teores de COT na época chuvosa, o que pode estar relacionado à rápida decomposição do material vegetal, que era a palhada de soja, que pela menor relação C/N é mais facilmente decomposta.

Tabela 5. Caracterização química do solo nos diferentes tratamentos e épocas de coleta (seca e chuvosa) na profundidade de 0-10 cm.

Áreas	pH (H ₂ O)		Na		Ca		Mg		K		S	
	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C
-----cmol _c dm ⁻³ -----												
SPD7	6,33 Aa	5,54 Ab	0,048 Aa	0,003 Aa	4,54 Ba	4,28 Aa	2,37 Aa	2,01 Aa	0,62 Aa	0,09 Ab	7,84 Aa	6,45 Aa
SPD14	5,85 Aa	5,48 Aa	0,230 Aa	0,002 Ab	3,87 Ba	4,29 Aa	3,03 Aa	2,08 Aa	0,30 Aa	0,06 Aa	7,76 Aa	6,43 Aa
SPD23	6,42 Aa	5,56 Ab	0,127 Aa	0,003 Aa	7,61 Aa	5,37 Ab	1,78 Ba	1,97 Aa	0,17 Aa	0,07 Aa	9,77 Aa	7,40 Aa
Floresta Atlântica	5,38	5,42	0,010	0,003	7,68	6,48	2,70	2,56	0,29	0,06	10,85	9,10
	CV(%) = 6,06		CV(%) = 133,74		CV(%) = 18,59		CV(%) = 28,43		CV(%) = 13,69		CV(%) = 18,75	
	H + Al		T		Al		V		P		COT	
	----- cmol _c dm ⁻³ -----											
	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C
SPD7	4,0 Ba	3,73 Aa	11,84 Ba	10,18 Ab	0,3 Aa	0,0 Aa	66 Aa	63 Aa	4,18 Bb	18,72 Ba	15,38 Ba	16,46 Aa
SPD14	6,75 Aa	4,92 Aa	14,50 Aa	11,34 Ab	0,2 Aa	0,0 Aa	53 Aa	56 Aa	7,33 ABb	13,63 Ba	19,65 Aa	19,47 Aa
SPD23	4,73 Ba	4,18 Aa	14,50 Aa	11,58 Ab	0,5 Aa	0,0 Aa	67 Aa	64 Aa	11,61 Ab	23,50 Aa	22,98 Aa	18,10 Ab
Floresta Atlântica	9,11	5,97	19,96	15,06	0,2	0,0	54	59	4,02	7,76	32,90	34,70
	CV(%) = 23,42		CV(%) = 7,29		CV(%) = 168		CV(%) = 15,70		CV(%) = 50,06		CV(%) = 12,70	

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na mesma coluna e minúsculas iguais na mesma linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

SPD₇ - sistema de plantio direto 7 anos; SPD₁₄ - sistema de plantio direto 14 anos; SPD₂₃ - sistema de plantio direto 23 anos

Tabela 6. Caracterização química do solo nos diferentes tratamentos e épocas de coleta (seca e chuvosa) na profundidade de 10-20 cm.

Áreas	pH (H ₂ O)		Na		Ca		Mg		K		S	
	-----cmol _c dm ⁻³ -----											
	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C
SPD7	5,83 Aa	5,38 Aa	0,049 Ba	0,003 Aa	3,31 Ba	3,85 Aa	2,21 Aa	1,54 Aa	1,23 Aa	0,06 Ab	7,07 Aa	5,46 Aa
SPD14	5,45 Aa	5,28 Aa	0,263 Aa	0,002 Ab	3,01 Ba	3,91 Aa	2,18 Aa	1,65 Aa	0,20 Ba	0,03 Aa	5,95 Aa	5,60 Aa
SPD23	5,69 Aa	5,23 Aa	0,129 Aa	0,002 Aa	5,76 Aa	4,27 Aa	1,08 Ba	1,71 Aa	0,21 Ba	0,05 Aa	7,26 Aa	6,02 Aa
Floresta Atlântica	5,10	5,23	0,017	0,004	3,91	4,34	2,14	2,56	0,24	0,05	6,30	6,95
	CV(%) = 8,13		CV(%) = 156,41		CV(%) = 25,02		CV(%) = 33,40		CV(%) = 11,39		CV(%) = 22,79	
	H + Al		T		Al		V		P		Corg	
	cmol _c dm ⁻³											
	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C
SPD7	5,33 Ba	4,05 Aa	12,41 Ba	9,51 Bb	0,5 Aa	0,0 Aa	56 Aa	57 Aa	8,77 Bb	18,45 Aa	13,70 Ba	13,86 Aa
SPD14	8,42 Aa	5,42 Ab	14,36 Aa	11,02 Ab	0,4 Aa	0,1 Aa	42 Aa	51 Aa	18,83 Aa	16,47 Aa	16,04 Aa	16,28 Aa
SPD23	6,98 Aa	5,41 Aa	14,25 Aa	11,43 Ab	0,8 Aa	0,1 Ab	51 Aa	53 Aa	12,62 ABb	22,95 Aa	17,81 Aa	15,45 Aa
Floresta Atlântica	8,54	5,90	14,85	12,86	0,6	0,1	42	52	1,79	3,02	20,74	20,46
	CV(%) = 20,83		CV(%) = 6,53		CV(%) = 154,40		CV(%) = 20,56		CV(%) = 45,82		CV(%) = 11,18	

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na mesma coluna e minúsculas iguais na mesma linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

SPD₇ - sistema de plantio direto 7 anos; SPD₁₄ - sistema de plantio direto 14 anos; SPD₂₃ - sistema de plantio direto 23 anos

Tabela 7. Caracterização química do solo nos diferentes tratamentos e épocas de coleta (seca e chuvosa) na profundidade de 20-30 cm.

Áreas	pH (H ₂ O)		Na		Ca		Mg		K		S	
	-----cmol _c dm ⁻³ -----											
	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C
SPD7	5,63 Aa	5,38 Aa	0,121 Aa	0,002 Aa	3,0 Ba	3,43 Aa	1,92 Aa	1,67 Aa	0,83 Aa	0,03 Ab	6,11 Aa	5,14 Aa
SPD14	5,23 Aa	5,02 Aa	0,208 Aa	0,002 Ab	2,31 Ba	3,54 Aa	1,63 Aa	1,11 Aa	0,13 Ba	0,03 Aa	4,62 Aa	4,68 Aa
SPD23	5,40 Aa	5,31 Aa	0,092 Aa	0,002 Aa	4,92 Aa	4,41 Aa	0,97 Aa	1,48 Aa	0,25 Ba	0,04 Aa	6,35 Aa	5,93 Aa
Floresta Atlântica	4,96	5,18	0,010	0,003	3,07	3,59	1,59	2,40	0,19	0,04	4,87	6,03
	CV(%) = 7,89		CV(%) = 184,08		CV(%) = 29,69		CV(%) = 37,42		CV(%) = 106,85		CV(%) = 26,37	
	H + Al		T		Al		V		P		Corg	
	cmol _c dm ⁻¹											
	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C
SPD7	5,17 Ba	3,97 Aa	11,28 Ba	9,11 Bb	0,1 Aa	0,0 Aa	54 Aa	56 Aa	11,42 Aa	13,40 Aa	12,46 Aa	11,34 Ba
SPD14	8,90 Aa	5,89 Ab	13,51 Aa	10,57 Ab	0,1 Aa	0,2 Aa	34 Ba	44 Aa	16,34 Aa	5,62 Ab	14,22 Aa	14,85 Aa
SPD23	7,81 Aa	4,78 Ab	14,16 Aa	10,71 Ab	0,1 Aa	0,1 Aa	45 Aa	55 Aa	17,33 Aa	6,25 Ab	15,52 Aa	16,22 Aa
Floresta Atlântica	8,90	5,40	13,76	11,42	1,1	0,3	34	51	1,24	1,70	14,93	16,44
	CV(%) = 20,23		CV(%) = 9,06		CV(%) = 160,40		CV(%) = 22,00		CV(%) = 54,17		CV(%) = 16,50	

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na mesma coluna e minúsculas iguais na mesma linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

SPD₇ - sistema de plantio direto 7 anos; SPD₁₄ - sistema de plantio direto 14 anos; SPD₂₃ - sistema de plantio direto 23 anos

3.5.2. Estoques de COT e de Nutrientes

Para o COT observou-se aumento nos teores em função do tempo de implantação do SPD, onde a área SPD23 apresentou maiores teores de COT (Tabela 8).

Quando manejado corretamente, o SPD pode favorecer as entradas de C no sistema e consequentemente aumentar o estoque de COT e a fertilidade das áreas (Bell e Moore, 2012), uma vez que a taxa de resíduos que entra no sistema influencia a taxa de adição de C ao solo (Johnston et al., 2009). A magnitude desse processo depende da quantidade e qualidade dos resíduos aportados sobre a superfície do solo (Paul et al., 2013), além do tempo de implantação e das condições climáticas da região (Salton, 2005). Segundo Carvalho et al. (2009), o aumento do COT em SPD, quando comparado a outros sistemas de manejo, pode estar relacionado ao seu tempo de adoção, pois o acúmulo de carbono nesse sistema ocorre lentamente, levando em torno de 10 a 15 anos para ser expressivo.

O maior teor de carbono no SPD é atribuído principalmente à manutenção dos restos culturais deixados na superfície do solo e à proteção física dos compostos orgânicos contra o ataque microbiano, exercida pelos agregados do solo (Diekow et al., 2005), sendo sua formação e estabilidade favorecidas pelo menor revolvimento do solo. Além disso, o revolvimento do solo aumenta a disponibilidade de O₂ aos microrganismos, aumentando a taxa de mineralização da matéria orgânica. Segundo Six et al. (2002), para que os sistemas de produção de grãos funcionem como dreno de CO₂, é necessário maximizar a produção de biomassa vegetal e aumentar a eficiência metabólica dos sistemas biológicos. Quando o carbono acumulado na biomassa vegetal é maior que o carbono perdido para a atmosfera, em função dos processos biológicos que ocorrem dentro do solo, espera-se que ocorra acumulação ou sequestro de carbono da atmosfera pelo solo. Esse é um dos princípios do SPD, onde a eliminação da desagregação do solo através do revolvimento do mesmo, reduz a taxa de decomposição da MO, pois parte desta se mantém fisicamente inacessível ao ataque microbiano (Stevenson, 1994; Bayer, 1996).

Avaliando carbono orgânico do solo na camada de 0-30 cm, de Latossolo Vermelho Distroférico, em Jaboticabal – SP, sob SPD com diferentes tempos de implantação: SPD2 (2 anos de implantação, com cultivo de soja no verão), SPD4 (4 anos, com soja no verão) e SPD6 (6 anos, com soja do verão) e a vegetação nativa como referência, Silva et al. (2008) concluíram que não houve alteração no teor de MOS em nenhuma das áreas manejadas e a área de mata nativa apresentou o maior teor de MOS em relação às áreas sob SPD.

Nesse estudo, 6 anos não foram suficientes para alterar o COT do solo, na camada avaliada, quando comparado a vegetação de mata nativa. Por outro lado, em experimento de longa duração (18 anos), conduzido no Rio Grande do Sul, Costa et al. (2008) verificaram que o SPD associado a sistemas de cultura com alta adição de resíduos orgânicos ricos em C e N aumentou o estoque de C orgânico no solo.

Já quanto aos nutrientes cálcio e magnésio, nesse estudo, os maiores estoques de Ca e menores de Mg foram verificados na área SPD23, com valores de 4798,95 kg. ha⁻¹ para cálcio e 675,76 kg. ha⁻¹ para Mg, na camada de 0-30 cm. Esse padrão pode estar associado à aplicação de calcário calcítico (calagem) e também ao tempo de implantação do SPD. Devido ao maior aporte de resíduos vegetais ao longo do tempo, maior quantidade de MO foi adicionada ao sistema, fazendo com que o Ca e Mg sejam carregados ao longo do perfil por ácidos orgânicos resultantes do processo de decomposição dos resíduos vegetais, com melhor distribuição em profundidade desses elementos.

De acordo com Veronose et al. (2012), as plantas de cobertura contribuem para potencializar efeitos nas propriedades do solo, através da produção de biomassa e posterior liberação de nutrientes pela decomposição da palhada. A adição de resíduos vegetais associada ao uso de calcário aceleram os transportes de Ca e Mg (Caires, 2013).

A influência da relação Ca/Mg no solo decorrente da aplicação de calcário na nutrição de plantas está relacionada com a competição iônica pelos sítios de adsorção no solo e pela absorção pelas raízes. Em função disso, dependendo da concentração, a presença de um pode prejudicar os processos de adsorção e absorção de outro, fato que ocorre para os íons Ca^{+2} e Mg^{+2} (Orlando Filho et al., 1996).

Segundo Fassbender e Bornemisza (1994), em função da baixa quantidade de Mg nos calcários calcíticos, o seu uso sistemático aumenta a relação Ca/Mg. O excesso de Ca na solução do solo, prejudica a absorção de Mg, assim como o excesso de Mg prejudica a absorção de Ca (Moore et al., 1961).

Comparando o estoque de K nas áreas manejadas, observa-se maior estoque desse elemento na área SPD7. E quando se avaliam as épocas de coleta, verifica-se menor estoque na época chuvosa na mesma área. Esse comportamento pode ser explicado pela solubilidade do potássio, que dentre os cátions disponíveis no solo, é o mais solúvel. Por esse elemento não fazer parte de nenhuma estrutura ou molécula orgânica, é encontrado livre ou adsorvido, o que o torna facilmente trocável.

Em relação ao P, quando se compara as áreas manejadas, os maiores estoques foram encontrados na área SPD23. Esse comportamento pode ser explicado pela adição constante de fertilizantes fosfatados, associada à intensa atividade microbiana na camada superficial do solo coberta por resíduos vegetais, que através de sua decomposição, irá formar ácidos orgânicos ao longo do tempo, reduzindo a adsorção de P. Segundo Dick (1983), esse cenário, pode favorecer o carreamento vertical do P pelo movimento de compostos orgânicos de P no perfil do solo.

A interação do P com as argilas e óxi-hidróxidos de Fe e Al, determina sua labilidade e conseqüentemente sua disponibilidade. Se o P encontra-se em solução ou fracamente adsorvido, considera-se que esta é a forma lábil, pois está disponível. Entretanto, quando a adsorção ocorre através de ligações mais fortes, esta interação dificulta a dessorção do fósforo para a solução, caracterizando as formas não lábeis (Matias, 2010).

A interação do P com a MO, pode ser avaliada através da adsorção de P, após a incorporação da MO no solo. De acordo com Fontes et al. (1992), quanto menor o teor de MO no solo, maior a capacidade de adsorção do P em profundidade nos solos, pois diminui a quantidade de ácidos orgânicos e outros ânions capazes de bloquear a superfície dos óxidos.

Falleiro et al. (2003) observaram incremento de fósforo em SPD em função da manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo, o que favorece a ciclagem de fósforo, contribuindo para o incremento e disponibilidade dos estoques de fósforo, com o maior tempo de uso do solo com plantio direto. Segundo Sá et al. (2004), o não revolvimento do solo, no SPD, promove a formação de sítios de fósforo em espaçamentos e profundidades diferentes, devido à adubação fosfatada no sulco de semeadura. Assim, de acordo com o local e profundidade de amostragem podem ser observadas variações nos valores desse elemento.

Tabela 8. Estoques de carbono e nutrientes no solo em áreas sob SPD com diferentes tempos de implantação, em diferentes épocas do ano, no município de Guaíra, PR.

Áreas	ECa		EMg		EK		EP		ECOT	
	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa
0-30 cm										
SPD7	2986,80 Ba	3091,71 Aa	1140,43ABa	852,60 Aa	1428,10 Aa	97,31 Ab	34,10 Ba	49,65 Aa	55,63 Ba	55,66 Aa
SPD14	2345,18 Ba	2800,30 Aa	1191,04 Aa	689,36 Ab	291,26 Ba	54,82 Aa	51,95 ABa	35,72 Aa	58,99 Ba	59,96 Aa
SPD23	4798,95 Aa	3671,60 Aa	675,56 Ba	818,33 Aa	334,45 Ba	81,17 Aa	55,53 Aa	52,69 Aa	73,89 Aa	66,05 Aa
Floresta Atlântica	2561,06	2581,18	711,55	837,49	256,23	53,65	5,97	12,48	60,41	64,22

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na mesma coluna e minúsculas iguais na mesma linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

SPD₇ - sistema de plantio direto 7 anos; SPD₁₄ - sistema de plantio direto 14 anos; SPD₂₃ - sistema de plantio direto 23 anos. ECa – estoque de cácio, EMg – estoque de magnésio, EK – estoque de potássio, EP – estoque de fósforo, ECOT – estoque de carbono.

3.5.3. Atributos Físicos do Solo

a) Agregação do solo

Os indicadores DMP (diâmetro médio ponderado dos agregados), DMG (diâmetro médio geométrico dos agregados) e IEA (índice de estabilidade de agregados) contribuem para compreensão da dinâmica da agregação do solo e do efeito do tipo de manejo e cobertura vegetal combinado a outros fatores sobre essas variáveis. Portanto, a sua variação é importante para entender como o manejo influencia a qualidade física do solo.

Não foram observadas diferenças significativas entre as áreas e as épocas avaliadas para o DMP e para o IEA (Tabela 9). Hernani e Guimarães (1999) relatam que sistemas de preparo de solo associados à rotação de culturas influenciam a estabilidade e o tamanho de agregados. Esses autores verificaram significativa elevação do DMP dos agregados estáveis em água quando o plantio direto foi associado à rotação de culturas, o que não ocorreu quando o sistema de preparo foi conduzido com ausência da rotação.

Com relação ao DMG, a área SPD7 apresentou tamanho inferior de DMG quando comparada as demais na profundidade de 0-10 cm (Tabela 9), o que pode ser explicado pelo tempo de adoção do SPD. Como essa área é a mais recente com SPD, a possível influência da ausência de revolvimento e a adição de resíduos vegetais ainda não se expressou de forma suficiente no favorecimento da formação de agregados estáveis. Em estudo sobre tempo necessário para a consolidação do SPD em Latossolo Vermelho Amarelo de textura argilosa no sudoeste de Goiás, Neto et al. (2007) verificaram que o SPD apresentou-se consolidado apenas a partir do nono ano após a implantação do mesmo.

Observa-se que a área SPD23 apresentou valores de DMG semelhantes aos da área de referência (Tabela 9), mostrando a importância da adoção de práticas culturais adequadas para manter a qualidade do solo. Reichert et al. (2003) relatam a importância das plantas de cobertura, que afetam diretamente a estabilidade estrutural, através da ação do sistema radicular no agregados superficiais e no incremento de MOS.

Segundo Bayer e Mielniczuck (1999), após a aproximação das partículas minerais, a MOS tem papel fundamental na estabilidade dos agregados. A decomposição lenta e gradual dos resíduos vegetais associada ao não revolvimento do solo libera compostos orgânicos que estimulam a formação e a estabilidade dos agregados (Tisdall e Oades, 1982), proporcionando proteção física da matéria orgânica, que atua como agente cimentante entre os agregados menores, para a formação de agregados maiores.

Fageria (2012) e Franchini et al. (2012) corroboram com Tisdall e Oades (1982), onde relatam que a redução ou eliminação do revolvimento do solo associado ao frequente aporte de resíduos vegetais ocorrentes após a adoção do SPD promovem o aumento do teor de matéria orgânica e protegem o solo contra a ação desagregadora dos ventos e das chuvas, refletindo no aumento do DMP e DMG. Já Conte et al. (2011), relatam que a estabilidade de agregados do solo isolada não é suficiente para avaliar a qualidade física de um solo. Os autores afirmam que solos compactados podem apresentar elevada estabilidade de agregados e em contrapartida apresentar má distribuição de atributos como a porosidade do solo, prejudicando o desenvolvimento das culturas. No entanto, quando a porosidade e a densidade do solo (Tabela 10) são avaliadas em conjunto com a agregação, o estudo sobre os impactos do manejo na qualidade física do solo se torna mais detalhado e adequado.

Tabela 9. Diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de agregação (IEA) em áreas sob SPD com diferentes tempos de implantação, em diferentes épocas do ano, no município de Guaíra, PR.

Áreas	DMP		DMG		IEA	
	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa
0-10 cm						
SPD7	2,11 Aa	2,19 Aa	1,99 Ba	2,31 Aa	90,09 Aa	91,78 Aa
SPD14	2,54 Aa	2,07 Aa	2,92 Aba	2,16 Aa	92,66 Aa	90,93 Aa
SPD23	2,68 Aa	2,39 Aa	3,64 Aa	3,10 Aa	94,23 Aa	93,45 Aa
Floresta Atlântica	2,71	2,75	3,01	3,030	91,41	92,29
	CV(%) = 21,11		CV(%) = 24,16		CV(%) = 3,19	
10-20 cm						
SPD7	2,04 Aa	1,73 Aa	2,05 Aa	1,93 Aa	87,53 Aa	90,90 Aa
SPD14	1,84 Aa	1,85 Aa	1,80 Aa	2,13 Aa	90,57 Aa	91,17 Aa
SPD23	2,32 Aa	1,92 Aa	2,57 Aa	1,90 Aa	92,39 Aa	91,15 Aa
Floresta Atlântica	2,45	2,64	3,22	3,67	92,62	94,46
	CV(%) = 27,10		CV(%) = 35,66		CV(%) = 3,47	
20-30 cm						
SPD7	1,80 Aa	1,68 Aa	1,99 Aa	1,99 Aa	88,76 Aa	90,88 Aa
SPD14	1,61 Aa	1,61 Aa	1,68 Aa	1,63 Aa	92,36 Aa	91,68 Aa
SPD23	2,12 Aa	1,99 Aa	2,27 Aa	2,10 Aa	91,83 Aa	92,87 Aa
Floresta Atlântica	2,47	2,56	2,53	3,13	91,62	94,31
	CV(%) = 26,24		CV(%) = 29,37		CV(%) = 3,28	

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na mesma coluna e minúsculas iguais na mesma linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

SPD₇ - sistema de plantio direto 7 anos; SPD₁₄ - sistema de plantio direto 14 anos; SPD₂₃ - sistema de plantio direto 23 anos

b) Densidade do solo e de partículas, porosidade total e umidade atual

De acordo com os valores de densidade do solo (Tabela 10) não houve diferença significativa entre as áreas e épocas de amostragem. Já a floresta (área referência) apresentou os menores valores em relação às áreas manejadas, de 0,76 a 1,06 Mg.m⁻³. Isso se deve a ausência de qualquer manejo (trânsito de máquinas) e a quantidade alta de raízes da vegetação nativa, bem como características do Latossolo, que, naturalmente tem elevada agregação.

Apesar de não haver diferenças entre as áreas manejadas, observa-se uma tendência de aumento nos valores de densidade em profundidade, atingindo 1,39 Mg m⁻³ na camada de 10-20 cm e 1,42 Mg.m⁻³ na camada de 20-30 cm na área com maior tempo de adoção do sistema (SPD23). Em experimento de longa duração (20 anos) em solo sob SPD em Boigneville, Norte da França, Dimassi et al. (2013) encontraram valores de 1,50 Mg. m⁻³ na camada de 10 a 20 cm, ou seja, próximo ao valor de 1,60 Mg m⁻³ considerado crítico para o desenvolvimento das culturas (Silva e Rosolem, 2001). Os valores de Ds encontrados pelos autores citados evidenciam a presença de camadas compactadas em subsuperfície, o que pode influenciar o fluxo de ar, água e nutrientes prejudicando a atividade biológica e o desenvolvimento do sistema radicular das lavouras.

A modernização da agricultura com otimização das práticas agrícolas e intenso uso de defensivos através do uso intensivo de máquinas cada vez maiores e mais pesadas, vem aumentando a frequência do tráfego de máquinas sobre o solo (Chamen et al., 2003). Portanto, o maior uso de máquinas associado ao não revolvimento do solo é apontado como

causa para o aumento da compactação do solo em muitas áreas manejadas sob o SPD (Stone e Silveira, 2001; Collares et al., 2006).

Nesse estudo em Guairá (PR), em todas as áreas manejadas e nas camadas amostradas, os valores de Dp variaram de 2,43 a 2,71 Mg m⁻³, não apresentando diferenças significativas, exceto para a área SPD14, que quando comparada as demais áreas na camada de 0-10 cm, apresentou menores valores de Dp. Segundo Brady & Buckman (1983), um fator que contribui para a redução da densidade média de partículas (Dp) e a densidade do solo (Ds), além de afetar a agregação, é o teor de matéria orgânica do solo. Os diferentes tempos de implantação não promoveram efeito significativo sobre o volume total de poros (VTP), onde os valores variaram entre 42 a 63%.

A umidade do solo no momento da coleta foi menor na área SPD7 em relação às demais, na época chuvosa e sob palhada da soja, o que pode ser explicado pela menor quantidade de resíduos vegetais depositados na superfície do solo nessa área.

Tabela 10. Densidade do solo, densidade de partículas, volume total de poros (VTP) e umidade atual no solo sob SPD com diferentes tempos de implantação, em diferentes épocas do ano, no município de Guairá, PR.

Áreas	Densidade do solo		Densidade da partícula		VTP		Umidade atual	
	Mg.m ⁻³		Mg.m ⁻³		%		%	
	S	C	S	C	S	C	S	C
0-10 cm								
SPD7	1,25 Aa	1,26 Aa	2,71 Aa	2,64 Aa	56 Aa	52 Aa	21 Aa	17 Ba
SPD14	1,09 Aa	1,09 Aa	2,50 Ba	2,47 Aa	58 Aa	55 Aa	27 Aa	22 Aa
SPD23	1,17 Aa	1,17 Aa	2,59 Aa	2,59 Aa	63 Aa	54 Aa	26 Aa	20 Aa
Floresta Atlântica	0,76	0,76	2,28	2,28	0,67	0,67	28	21 Aa
	CV(%) = 16,05		CV(%) = 3,35		CV(%) = 13,69		CV(%) = 14,80	
10-20 cm								
SPD7	1,37 Aa	1,37 Aa	2,58 Aa	2,57 Aa	46 Aa	46 Aa	22 Aa	19 Aa
SPD14	1,22 Aa	1,22 Aa	2,47 Aa	2,47 Aa	52 Aa	50 Aa	27 Aa	22 Aa
SPD23	1,39 Aa	1,39 Aa	2,59 Aa	2,59 Aa	46 Aa	46 Aa	25 Aa	19 Aa
Floresta Atlântica	0,97	0,97	2,44	2,43	0,59	0,59	27	20 Aa
	CV(%) = 9,71		CV(%) = 4,99		CV(%) = 11,39		CV(%) = 16,43	
20-30 cm								
SPD7	1,40 Aa	1,40 Aa	2,59 Aa	2,59 Aa	47 Aa	45 Aa	23 Aa	21 Aa
SPD14	1,26 Aa	1,26 Aa	2,43 Aa	2,43 Aa	48 Aa	47 Aa	28 Aa	22 Aa
SPD23	1,42 Aa	1,42 Aa	2,51 Aa	2,49 Aa	44 Aa	42 Aa	25 Aa	21 Aa
Floresta Atlântica	1,06	1,06	2,47	2,47	0,57	0,57	27	21
	CV(%) = 4,97		CV(%) = 3,43		CV(%) = 9,67		CV(%) = 15,10	

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na mesma coluna e minúsculas iguais na mesma linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

SPD₇ - sistema de plantio direto 7 anos; SPD₁₄ - sistema de plantio direto 14 anos; SPD₂₃ - sistema de plantio direto 23 anos

Diante do exposto observa-se um aumento de densidade do solo em profundidade em função do tempo de plantio direto, o que pode futuramente acarretar problemas para o desenvolvimento do sistema radicular das culturas, se não monitorado. Entretanto os valores verificados nas áreas não seriam considerados restritivos ao crescimento de plantas (entre 1,09 e 1,42 Mg.dm⁻³) de acordo com Corsini e Ferraud, 1999.

Porém, ainda não existe um consenso de valores de densidade do solo que possam restringir o crescimento das plantas. Para Buckman & Brady (1989) os valores que dificultariam o crescimento radicular variam em torno de 1,70 e 1,80 Mg m⁻³, já para Arshad et al. (1996), o valor de 1,40 Mg m⁻³ é um limite crítico, que aumenta com o decréscimo do teor de argila do solo. Beutler et al. (2007) verificaram decréscimo de produtividade da soja, sob cultivo de sequeiro e irrigado, a partir da densidade do solo de 1,26 e 1,29 Mg m⁻³, respectivamente, em estudo realizado em Latossolo Vermelho Eutroférico, muito argiloso. Genro Junior et al. (2009), estudando Latossolo Vermelho cultivado com plantio direto, relatam que o solo apresentou um grau de compactação elevado, com densidade do solo acima do limite crítico para a classe textural muito argiloso, segundo Veihmeyer e Hendrickson (1948) e Jones (1983).

Reichert et al. (2003, 2009), propuseram para solos argilosos, que a densidade crítica varia de 1,30 a 1,40 Mg m⁻³ e para solos muito argilosos a densidade crítica varia de 1,25 a 1,30 Mg m⁻³. Já Alvarenga et al. (1996), observaram restrições ao desenvolvimento de raízes em Guandu anão em Latossolo Vermelho muito argiloso, cuja densidade superou o valor de 1,35 Mg.dm⁻³.

Muitos benefícios vêm sendo relatados em áreas com SPD, como o controle da erosão hídrica, o acúmulo de matéria orgânica e nutrientes no solo (Bayer et al., 2000). Entretanto, geralmente, os solos são compactados abaixo da camada superficial, independente do teor de argila (Reichert et al., 2003, 2009), sendo considerada por alguns autores uma consequência normal desse sistema (Silva et al., 2000).

Portanto para preservar a qualidade do solo e eliminar a necessidade de mobilizações nesse sistema é recomendado o uso de rotação de culturas, em função dos diferentes sistemas radiculares e a grande produção de biomassa vegetal. Relatos apontam para a redução da densidade do solo e aumento da porosidade e estabilidade de agregados, conforme observado por Albuquerque et al. (1995) e Campos et al. (1995) em Latossolo Vermelho argiloso.

Portanto, considerando-se a diversidade dos solos brasileiros, ressalta-se a importância da realização de estudos quanto ao efeito nos atributos edáficos do desenvolvimento de culturas e sucessões em SPD em diferentes classes de solo e ambientes.

3.6. CONCLUSÕES

De modo geral, a variação nos atributos químicos se relacionou com o tempo de implantação do SPD e a época de amostragem, que também reflete a cobertura do solo.

A sucessão soja, milho/trigo contribuiu no aumento dos teores e estoques de carbono, cálcio e fósforo, nos diferentes tempos de implantação do sistema de plantio direto.

Os estoques de COT e P aumentaram em função do tempo de implantação do SPD e o estoque de Ca foi influenciado pela prática de calagem, com decréscimo no estoque de Mg, o que pode afetar negativamente a relação Ca/Mg do solo.

Os atributos físicos DMP e IEA não mostraram variação significativa nas áreas sob SPD. Embora sem diferença significativa entre as áreas, os valores de Ds observados em profundidade no SPD23, com maior tempo de adoção do sistema, indicam possíveis camadas compactadas, que devem ser monitoradas para garantir a sustentabilidade do SPD.

4. CAPÍTULO II

MACROFAUNA EDÁFICA COMO INDICADORA DE QUALIDADE DO SOLO E INFLUENCIA NA AGREGAÇÃO

4.1. RESUMO

Variações na composição da fauna edáfica podem ocorrer em função do manejo agrícola e consequentemente influenciar a agregação do solo, já que esta está intimamente relacionada a esse processo. O trabalho foi desenvolvido em sistemas agrícolas particulares, explorados comercialmente no município de Guaíra – PR. Foram avaliadas três áreas com diferentes tempos de adoção do SPD, por 7, 14 e 23 anos sob sucessão das culturas soja (verão) e milho/trigo (inverno) (SPD7, SPD14 e SPD23 respectivamente), e uma área de Floresta Atlântica como referência. As amostras foram coletadas nas épocas seca (setembro/ 2013) e chuvosa (fevereiro/2014). O objetivo foi avaliar o efeito do tempo de implantação do SPD e da sazonalidade na macrofauna edáfica e na formação dos tipos morfológicos de agregados. Para avaliação da macrofauna edáfica foi utilizado o método recomendado pelo Programa *Tropical Soil Biology and Fertility*. No caso da densidade da fauna, os dados foram transformados antes da análise para $\log(x+1)$. Como os resíduos de cada tratamento são provenientes de uma distribuição normal e as variâncias forma homogêneas, adotou-se o método de análise estatística paramétrica e os resultados foram comparados pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Foi realizada a identificação dos tipos morfológicos de agregados, sendo estabelecidos três grupos: fisiogênicos, intermediários e biogênicos. Para os diferentes tipos de agregados foram determinados a composição relativa, o carbono orgânico total (COT), fracionamento químico e físico granulométrico da matéria orgânica. Os dados atenderam às pressuposições da análise paramétrica e as comparações foram realizadas com a aplicação do teste de Tukey a 5% de probabilidade. De maneira geral, a maior densidade e riqueza total de indivíduos da mcarofauna foram encontradas nas áreas SPD14 e SPD23 na época seca, porém não foram observados maiores índices de equabilidade, devido à dominância dos grupos Formicidae e Isoptera. As áreas com maiores valores de equabilidade foram à área de referência na época seca e a área SPD23 na época chuvosa, com valores de 0,87 e 0,61, respectivamente. Os agregados biogênicos foram encontrados em maior proporção na área referência, enquanto os fisiogênicos e intermediários foram encontrados em maiores proporções nas áreas manejadas. Os teores de COT foram maiores nos agregados biogênicos, assim como o carbono orgânico associado aos minerais (COam).

Palavras chave: Fauna do solo. Agregação do solo. Matéria orgânica do solo.

4.2. ABSTRACT

Variations in soil fauna composition may occur depending on the agricultural management and consequently influence the soil aggregation, since it is closely related to this process. This work was developed in private farms, explored commercially in the Guaíra municipality – Paraná State. There were evaluated three different areas with a chronosequence of NTS adoption, by 7, 14 and 23 years under succession of soybean (summer) and corn/wheat crops (winter) (NTS7, NTS14 and NTS23, respectively), and an area of Atlantic Forest as reference. The samples were taken in the dry (September/2013) and rainy seasons (February/2014). The objective was to evaluate influence of NTS adoption time and seasonality in the soil macrofauna and formation of types of morphological aggregates. For evaluation of soil macrofauna it was used the method recommended by the Tropical Soil Biology and Fertility Program. In the case of fauna density, data were transformed before to analysis to $\log(x + 1)$. Since each treatment residual did not originate from a normal distribution and the variances were homogeneous, it was adopted a parametric statistical analysis method. The results were compared using Tukey test at 5% probability. The identification of morphological types of aggregates was performed, establishing three types: physiogenics, intermediates and biogenic. For the different aggregate types it was determined their relative composition, the total organic carbon (TOC), and the organic matter chemical and physical fractionation of particle size. The data met the assumptions of parametric analysis, and comparisons were made with the application of the Tukey test at 5% probability. In general, the higher density and total richness of macrofauna individuals were found in NTS14 and NTS23 areas, in the dry season, but it was not observed a higher index of equability due to dominance of Formicidae and Isoptera groups. The areas with the highest equability values were the reference area, in the dry season, and NTS23 area in the rainy season, with values of 0.87 and 0.61, respectively. The biogenic aggregates were found in larger proportion in the reference area; while physiogenics and intermediate aggregates were found in larger proportions in the managed areas. The TOC values were higher in the biogenic aggregates, as well as the organic carbon associated with minerals (OCam).

Keywords: Soil fauna. Soil aggregation. Soil organic matter.

4.3. INTRODUÇÃO

O uso intensivo do solo, afeta suas propriedades físicas, químicas e biológicas, comprometendo assim, sua qualidade. As importantes funções do solo fazem com que sua qualidade/degradação seja considerada um indicador de saúde ambiental e da sustentabilidade de agrossistemas. Em função disso, o manejo de sistemas agrícolas produtivos vem sendo cada vez mais um desafio, onde se quer manter a produtividade dos sistemas de produção, mas conciliando com a conservação dos recursos naturais, solo, água e biodiversidade.

O SPD segue essa premissa, promovendo maior proteção física ao solo, em função da cobertura vegetal constante, que gera adição frequente de resíduos orgânicos ao solo, o que pode atrair uma maior quantidade de organismos, tanto benéficos como pragas (Brown et al., 2002; Oliveira et al., 2005).

Além dos atributos químicos e físicos do solo, conhecer a composição da comunidade da fauna do solo é fundamental para avaliar o comportamento de determinado manejo do solo em sistemas de produção conservacionistas. A fauna do solo é composta por invertebrados que vivem no solo, ou passam um ciclo de sua vida no mesmo. Esses organismos são importantes para diversos processos que ocorrem no solo, entre eles a decomposição da matéria orgânica e estruturação do solo.

Os organismos da fauna edáfica que tem efeito no processo de estruturação do solo são aqueles capazes de escavar e/ou ingerir partículas do solo, formando galerias, câmaras, ninhos, montes e pelotas fecais (Lavelle et al., 1994). Esses organismos são conhecidos como “engenheiros do ecossistema”, e os principais representantes são as minhocas, formigas e cupins. Desempenham importante papel na regulação dos processos do solo, como na estabilização de agregados, pois suas pelotas fecais contêm matéria orgânica estabilizada. Possuem um eficiente sistema simbiótico de digestão, em associação com a microflora do solo, onde esses organismos conseguem digerir substâncias mais complexas, como a lignina e substâncias húmicas. Podem produzir estruturas que tem efeito na pedogênese em diferentes escalas temporais (Lavelle, 1997). Além disso, são extremamente sensíveis a alterações ambientais, sendo a biota do solo considerada um eficiente indicador de qualidade.

Os agregados do solo podem ser formados por influência de diversos fatores, tais como carbono orgânico, teor de argila, cátions, ciclos de umedecimento e secagem, formando agregados denominados fisiogênicos ou formados pela influência da atividade biológica, denominados biogênicos (Pulleman et al., 2005).

O processo de formação de agregados biogênicos é induzido pela atividade de raízes, hifas e macrofauna do solo (Marinissen et al., 1998), porém os estudos sobre o efeito da macrofauna na formação desses agregados ainda são incipientes.

Nos sistemas de plantio direto, a fauna do solo tem maior relevância ainda, na transformação dos resíduos vegetais adicionados em superfície e na agregação do solo, uma vez que não há revolvimento do mesmo ou incorporação dos resíduos por práticas mecânicas como no sistema convencional.

Portanto, esse capítulo teve como objetivo avaliar os reflexos do tempo de implantação do SPD e a sazonalidade na macrofauna edáfica e na formação de agregados em Latossolo Vermelho Eutroférico típico, em Guará, PR.

4.4. MATERIAL E MÉTODOS

4.4.1. Macrofauna Edáfica

As áreas e as épocas de coleta foram as mesmas já descritas no Capítulo I. A comunidade da macrofauna do solo foi avaliada pelo método de monólitos de solo do programa *Tropical Soil Biological and Fertility* (TSBF), segundo Anderson e Ingram (1993).

Em cada área de estudo foram coletadas nove amostras (repetições), sendo a área amostral delimitada por gabarito metálico de 25 x 25 x 30 cm. Foi coletada a palhada ou serapilheira e amostras de terra nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm (Figura 6).

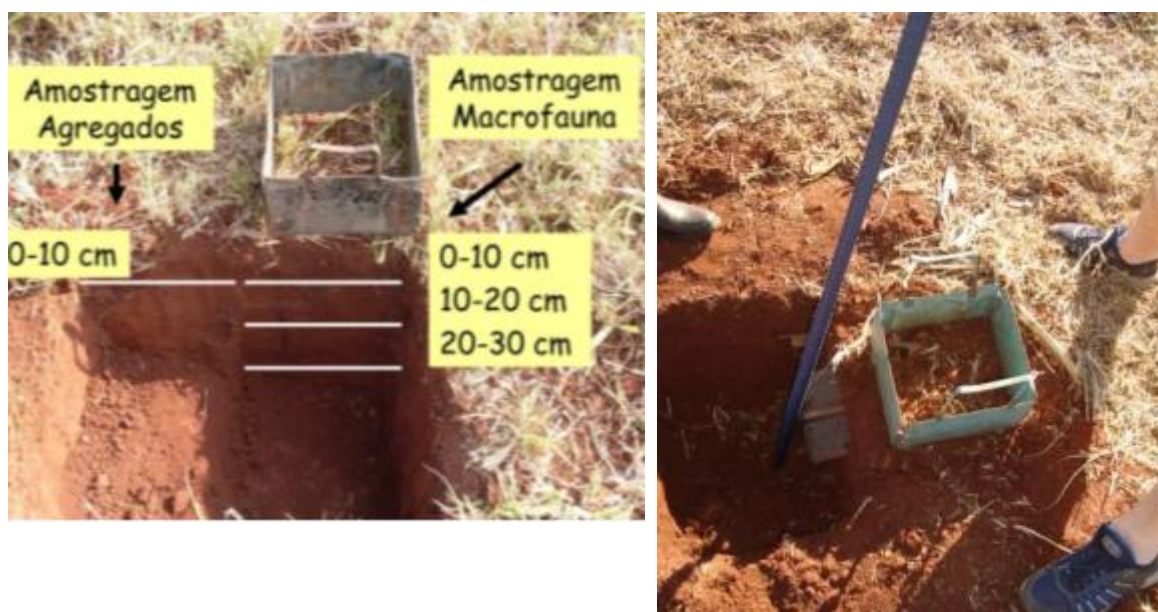


Figura 6. Amostragem para macrofauna do solo e agregados sob SPD.
(Direita - Foto de Itaynara Batista)

Em campo, cada amostra foi colocada em uma bandeja e foi realizada a separação manual da macrofauna (visível a olho nu) contida nas amostras. Os indivíduos coletados foram acondicionados em frasco com solução de álcool 70%, para conservação em longo prazo. Posteriormente, no laboratório se procedeu a contagem e identificação em nível de grandes grupos taxonômicos, em geral ordens e classes, de acordo com as descrições fornecidas por Costa et al. (1988), CSIRO (1991) e Dindal (1990).

4.4.2. Identificação Morfológica dos Agregados

Para amostragem dos agregados, foram abertas mini trincheiras nas dimensões aproximadas de 25 x 25 cm, onde foram coletados os blocos de solo, com gabarito de metal, na profundidade de 0-10 cm com uma pá quadrada (Figura 6). A amostragem foi feita em duas épocas (seca e chuvosa) e com diferentes coberturas do solo (palhada de milho na época seca e palhada de soja na época chuvosa), conforme descrito no Capítulo I.

Após as coletas, as amostras foram peneiradas no campo, sendo usado conjunto de peneiras de 9,7 – 8,0 mm, onde os agregados maiores que 9,7 e menores que 8,0 mm foram descartados. Após a separação, os agregados foram observados sob lupa e separados manualmente quanto à sua morfologia, de acordo com método proposto por Bullock et al. (1985) e adaptado por Pulleman et al. (2005).

Os agregados foram separados em três tipos de padrões morfológicos: **fisiogênicos** (F), definidos por apresentarem formas angulares ou prismáticas; **biogênicos** (B), definidos por formas arredondadas, providas pelo trato intestinal da macrofauna do solo, principalmente minhocas e/ou por evidência de atividade de raízes; e **intermediários** (I), agregados que possuem forma indefinida, podendo ser os biogênicos que perderam a forma arredondada, pelo envelhecimento, ou fisiogênicos por possuírem solda com pequeno coprólito (Figura 7).

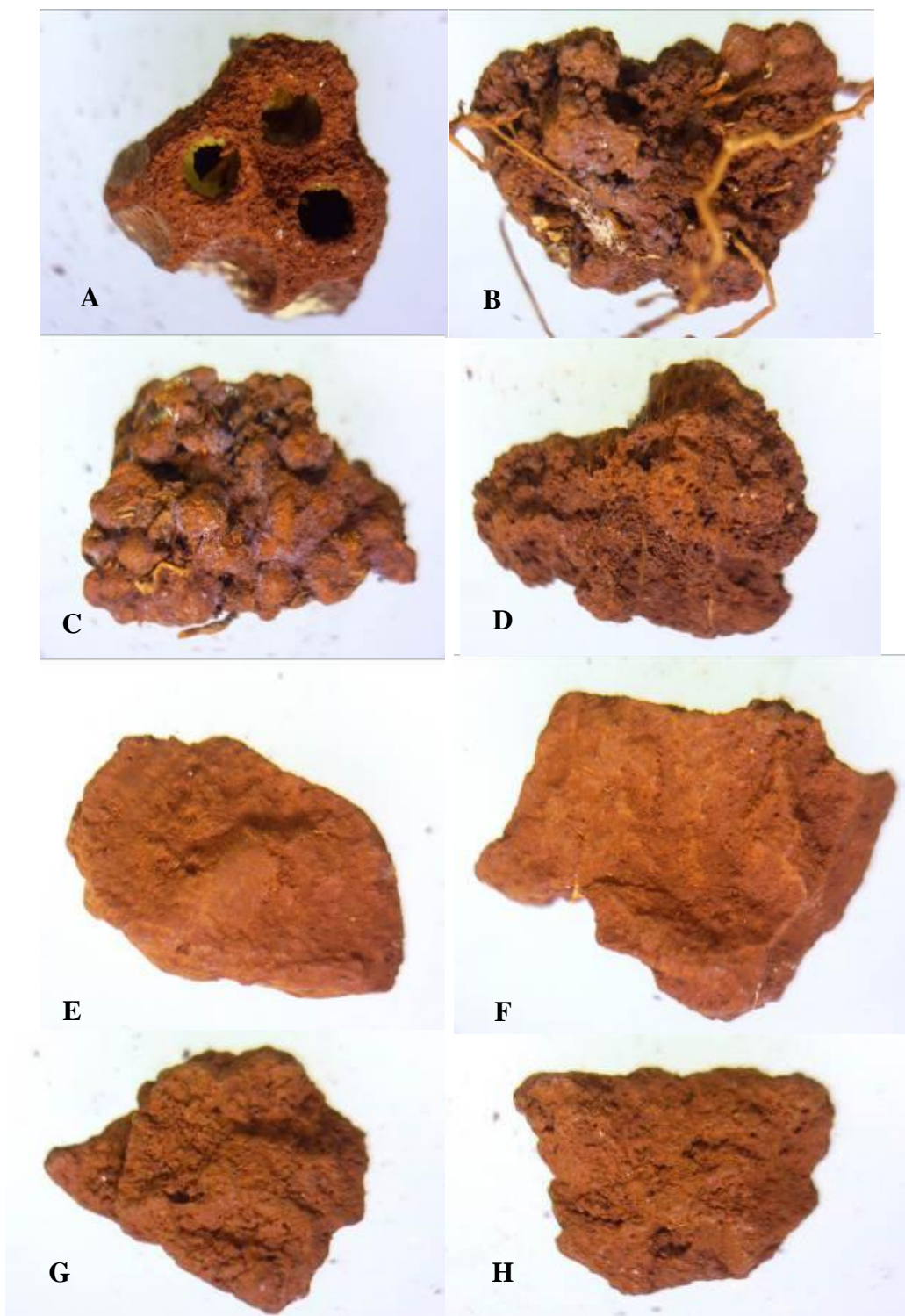


Figura 7. Exemplo dos diferentes tipos de agregados na fração 9,7-8,0 mm: biogênico (A,B,C,D); fisiogênico (E,F); e intermediário (G,H). (Fotos: Cláudia dos R. Ferreira)

Para determinação da contribuição relativa dos agregados, expressos em massa, foram pesadas 100 g de agregados. Essa massa de agregados foi identificada sob lupa de aumento, no Laboratório de Indicadores Ambientais do Departamento de Solos da UFRRJ. Desta forma, se quantificou a fração de agregados fisiogênicos, intermediários e biogênicos, contidos na massa inicial. Após a separação, as diferentes frações foram analisadas quanto ao carbono orgânico total e o fracionamento químico e granulométrico da matéria orgânica.

a) Fracionamento químico da matéria orgânica do solo

As substâncias húmicas foram separadas em três frações: ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) e humina (HUM), segundo a técnica de solubilidade diferencial, estabelecida pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (Swift, 1996), conforme adaptação por Benites et al. (2003).

Pesou-se uma massa de solo igual a 1,0 g, submetendo-se ao contato com 20 mL de NaOH 0,1 mol L⁻¹ por 24 horas. A separação entre o extrato alcalino (EA= AF + AH) e o resíduo (HUM) foi feita por centrifugação a 5000 rpm por 30 minutos. Realizou-se mais uma lavagem com a mesma solução anterior, juntando-se ao extrato anteriormente obtido, resultando em um volume final de aproximadamente 40 mL. O resíduo foi retirado dos tubos da centrífuga, acondicionados em placa de Petri e seco a 65°C (secagem completa). O pH do EA foi ajustado a 1,0 (±0,1) com H₂SO₄ 20%, seguido de decantação por 18 horas em geladeira. O precipitado (AH) foi separado da fração solúvel (AF) por filtragem e ambos os volumes aferidos a 50 mL, com água destilada.

A quantificação do carbono das frações (C-FAF e C-FAH) foi efetuada usando-se alíquotas de 5 mL de extrato, 1,0 mL de dicromato de potássio 0,042 mol L⁻¹ e 5,0 mL de H₂SO₄ concentrado, em bloco digestor a 150°C (30 min) e titulado com sulfato ferroso amoniacal 0,0125 mol L⁻¹. No resíduo seco em estufa, foi determinado o C-HUM, adicionando-se 5,0 mL de dicromato de potássio 0,1667 mol L⁻¹ e 10,0 mL de H₂SO₄ concentrado em bloco digestor a 150°C (30 min) e titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,25 mol L⁻¹ e indicador ferroin (Yeomans e Bremner, 1988).

b) Fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo

O método para fracionamento físico da matéria orgânica do solo foi o granulométrico (Cambardella e Elliot, 1992). Para tal, 20 g de TFSA e 60 mL de solução de hexametáfosfato de sódio (5g L⁻¹) foram agitados durante 15 horas em agitador horizontal. Em seguida, a suspensão foi passada em peneira de 53 µm com auxílio de jato de água. O material que ficou retido na peneira, é o carbono orgânico particulado (CO_p) associado à fração areia, que foi seco em estufa à 50°C, quantificado em relação a sua massa, moído em gral de porcelana e analisado em relação ao teor de carbono orgânico total (COT) segundo Yeomans & Bremner (1988). O material que passou pela peneira de 53 µm consiste no carbono orgânico associado aos minerais (CO_{am}) das frações silte e argila e foi obtido por diferença entre o COT e CO_p.

4.4.3. Análise dos Dados

a) Estimativa de densidade e índices ecológicos

Na amostragem da macrofauna do solo, a partir de monólitos, o que se amostra na verdade é o solo, do qual são retirados os espécimes da fauna. Neste caso, a unidade de espaço é bem definida, e muito embora seja amostrado um volume de solo (0,25 x 0,25 x 0,30 cm), estima-se a fauna do solo pela área da amostra. Desta forma, obtêm-se a densidade dos grupos da fauna de solo em número de indivíduos por m². Para o cálculo da densidade, multiplica-se o valor médio de indivíduos amostrados por 16, que é o fator de conversão entre a área amostrada (1/16 m²) e o metro quadrado. Os estimadores de diversidade utilizados no

estudo foram: a riqueza total, a riqueza média, o índice de equabilidade de Pielou. A riqueza total é o número de diferentes grupos taxonômicos presentes em cada área, e a riqueza média é o número médio de diferentes grupos taxonômicos por amostra.

Índice de Shannon (H) = $-\sum p_i \cdot \text{Log } p_i$

em que $p_i = n_i/N$

n_i = densidade de cada grupo

N = somatório do número de indivíduos m^{-2}

Índice de Pielou = $H \cdot \text{Log } S^{-1}$

Em que S = riqueza total

b) Análise estatística

As variáveis consideradas na análise estatística foram: a densidade da fauna, ou seja, o total de indivíduos em cada área e a riqueza média.

Os resultados foram analisados quanto à normalidade e homogeneidade por meio dos testes de Lilliefors e Cochran e Bartlett, respectivamente, com o auxílio do programa estatístico Sistemas para Análises Estatísticas (SAEG 8.1), da Fundação Arthur Bernardes, da Universidade Federal de Viçosa (Ribeiro Junior, 2001).

Para a densidade da fauna, os dados foram transformados antes da análise, para $\log(x+1)$. Como os resíduos de cada tratamento são provenientes de uma distribuição normal e as variâncias são homogêneas, adotou-se o método de análise estatística paramétrica, em delineamento inteiramente casualizado com arranjo fatorial (2 épocas - seca e chuvosa, 3 tratamentos - tempo de implantação do SPD, e 9 repetições). Os resultados foram comparados entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, usando o programa SISVAR 4.6, da Universidade Federal de Lavras (Ferreira, 2003).

4.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.5.1. Macrofauna do Solo

Nas coletas realizadas em setembro de 2013 (época seca), após a triagem, foram contabilizados 3122 indivíduos. Desse total 16% encontravam-se na área SPD7, 48% na SPD14 32% na SPD23 e 4% na área de referência (Floresta Atlântica). No mês de fevereiro de 2014 (época chuvosa), dos 1447 indivíduos coletados, 4% ocorreram na área SPD7, 9% na SPD14, 22% na SPD23 e 65% na área referência (Floresta Atlântica). Esse comportamento observado na área de referência mostra que a sazonalidade foi um fator importante na densidade de indivíduos, onde foram encontrados 123 ind.m⁻² na época seca e 937 ind.m⁻² na época chuvosa (Tabelas 11 e 12).

A influência da sazonalidade na fauna do solo em áreas de florestas tem sido estudada por diversos autores (Moço et al., 2005; Gomes et al., 2007; Mussury et al., 2008; Menezes et al., 2010 e Calvi et al., 2010). Os mesmos constataram que as variações na comunidade da fauna edáfica são devidas, principalmente aos valores de precipitação, como os verificados no período chuvoso (verão).

Esse estudo corrobora os resultados citados, em que os autores encontraram maior densidade de grupos no período de maior precipitação. Apesar de no mês da coleta (fevereiro/2014), ter ocorrido apenas poucos milímetros de chuva, o que influenciou a umidade do solo no momento da coleta, nos outros meses as chuvas foram distribuídas uniformemente (Figura 5).

Dos 3122 indivíduos coletados na época seca foram identificados 23 grupos taxonômicos, dos quais foram verificados 16 na área SPD7, 17 na SPD14, 13 na SPD23 e 12 na área referência (Tabela 11 e Tabela 12). Na época chuvosa, dos 1447 indivíduos coletados foram identificados 13 grupos, dos quais foram verificados 6 na área SPD7, 7 na SPD14, 8 na SPD23 e 11 na área referência (Tabela 11 e Tabela 13).

Quando se observa a riqueza total (número de grupos), não houve incremento significativo, apresentando 12 grupos na época seca e 11 grupos na época chuvosa. Já em relação ao índice de Pielou, a época seca apresentou um maior índice, mostrando que não houve dominância de grupos nessa época. Na época chuvosa observou-se padrão contrário, com maior densidade de organismos e menor índice de Pielou, o que foi atribuído ao grande número de indivíduos do grupo Isoptera.

Porém quando se observam as áreas manejadas, o padrão é inverso. Em paralelo a sazonalidade, o tipo de cobertura vegetal nas áreas manejadas foi diferente nas épocas de coleta. Na época seca a cobertura do solo era composta por palhada de milho e a cultura anterior era a soja, e na época chuvosa composta por palhada de soja, sendo a cultura anterior o milho. A influência da cultura anterior foi observada na palhada que estava na superfície.

O regime pluviométrico dos anos de coleta está representado na Figura 5, no capítulo I, onde se observam chuvas frequentes na época chuvosa, exceto em fevereiro/2014, que foi o mês de coleta em que choveu poucos milímetros, o que pode ter influenciado os resultados sobre os organismos da fauna do solo. Essas duas variáveis podem explicar o comportamento da macrofauna edáfica nas áreas manejadas.

De forma geral, comparando as áreas manejadas, observou-se uma menor densidade total de indivíduos (68 ind.m⁻²) e riqueza total (6 grupos) na época chuvosa, quando a cobertura do solo era palhada de soja. Na época seca, com a palhada de milho, a densidade total (1480 ind.m⁻²) e a riqueza total (17 grupos) apresentaram incremento.

Tabela 11. Densidade total da macrofauna edáfica e índices ecológicos nos diferentes sistemas de manejo nas duas épocas avaliadas (seca e chuvosa).

Época seca				
Áreas	Ind.m ⁻²	Riqueza média	Riqueza total	Índice de Pielou
SPD7	512 ± 329	4,5	16	0,67
SPD14	1480 ± 803	5	17	0,33
SPD23	1006 ± 504	4,1	13	0,52
Floresta Atlântica	123 ± 30	3	12	0,87
Época chuvosa				
Sistemas de Manejo	Ind.m ⁻²	Riqueza média	Riqueza total	Índice de Pielou
SPD7	68 ± 14	2,5	6	0,73
SPD14	124 ± 79	1,3	7	0,60
SPD23	318 ± 215	3,9	8	0,61
Floresta Atlântica	937 ± 336	6,1	11	0,47

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na mesma coluna e minúsculas iguais na mesma linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

SPD7 – área com sistema de plantio direto com 7 anos; SPD14 - área com sistema de plantio direto com 14 anos; SPD23 - área com sistema de plantio direto com 23 anos;

Os grupos que apresentaram maior densidade foram: Formicidae nas áreas SPD7 e SPD23 e Isoptera na área SPD14, na época seca. Na época chuvosa, os mesmos grupos se destacaram, o grupo Formicidae na área SPD23 e o grupo Isoptera na área de referência.

Nas áreas manejadas ocorreu o mesmo padrão da área de floresta em relação ao índice de Pielou. Porém, na época seca observou-se o maior número de indivíduos e o menor índice de Pielou para todas as áreas, mostrando dominância de grupos nessa época. A área SPD14 foi a que apresentou maior densidade (1480 ind.m⁻²) e maior riqueza total (17 grupos) na época seca; em contrapartida apresentou o menor índice de Pielou, mostrando a dominância de grupos nessa área e época. Tal fato pode ser observado na Figura 8, onde se vê a dominância pelo grupo Isoptera em relação aos demais.

Nas áreas SPD7 e SPD23 o grupo com maior quantidade de organismos foi o Formicidae, com 183 e 649 ind.m⁻², respectivamente (Tabela 12). A alta densidade de formigas e cupins pode estar relacionada ao hábito de vida colonial desses organismos, a constante adição de resíduos orgânicos ao solo, além da tendência de serem amostrados em grande número de indivíduos (Menezes et al., 2009).

As formigas constituem uma presença marcante na maioria dos ecossistemas terrestres, pela sua abundância e riqueza de espécies (Longino, 2002), apresentando elevadas densidades em diversos estudos (Menezes et al., 2008; Martins, 2009; Klenk, 2010). Em conjunto com as formigas, os cupins se alimentam de material celulósico, acelerando a decomposição e a ciclagem de nutrientes retidos nos resíduos vegetais mortos (Ouédraogo et al., 2004; Melo et al., 2009), constroem galerias, ninhos e túneis no solo em busca de alimento, melhorando a agregação e aumentando a porosidade, aeração e infiltração (Bruyn, 1999; Melo et al., 2009).

O grupo Oligochaeta esteve presente em todas as áreas nas duas épocas de coleta (seca e chuvosa), porém com maior densidade na área SPD7 (75 ind.m⁻²) (Tabela 12), que foi a que apresentou melhor distribuição dos organismos em relação às demais áreas manejadas (Figura 8). A densidade de alguns grupos da fauna, como a de Oligochaeta, está bastante associada a

solos sem muita interferência antrópica e com alto teor de matéria orgânica. Culturas como a do milho apresentam maior volume de raízes, implicando em elevado aporte de matéria orgânica (Silva et al., 2006).

De modo geral, quando se observa a riqueza total em todas as áreas na época seca (com palhada de milho), nota-se quantidade maior de grupos em relação à época chuvosa (com palhada de soja), além de grupos que foram coletados somente nessa época, como os grupos Diptera, Gastropoda, Larva de Diptera, Larva de Lepidoptera, Larva de Formicidae, Lepidoptera, Psocoptera, Pseudoscorpionida, Pupa de Coleoptera e Sternorrhyncha (Tabela 12 e Tabela 13).

Esse resultado pode ser explicado pela maior quantidade de palhada fornecida pela cultura do milho, além da relação C/N maior. Esses dois fatores fazem com que os resíduos demorem mais tempo para serem decompostos, gerando maior oferta de recursos alimentares, com diferente qualidade e presença de micro-habitats, devidos a quantidade de resíduos vegetais na superfície do solo, favorecendo assim maior quantidade de indivíduos e riqueza total de grupos.

Tabela 12. Densidade, expressa em ind.m⁻² de cada grupo taxonômico sob os diferentes tempos de implantação de plantio direto e área referência (Floresta Atlântica), coletados na época seca.

Grupos	Época seca (palhada de milho)						Floresta Atlântica	Dens Relat (%)
	SPD7	Dens Relat (%)	SPD14	Dens Relat (%)	SPD23	Dens Relat (%)		
Araneae	9	1,76	11	0,74	12	1,19	4	3,25
Blattodea	0	0,00	0	0,00	0	0,00	2	1,63
Chilopoda	2	0,39	5	0,34	12	1,19	14	11,38
Coleoptera	21	4,10	34	2,30	12	1,19	11	8,94
Diplopoda	9	1,76	12	0,81	12	1,19	9	7,32
Diptera	2	0,39	2	0,14	0	0,00	0	0,00
Formicidae	183	35,74	139	9,39	649	64,51	20	16,26
Gastropoda	11	2,15	5	0,34	2	0,20	2	1,63
Heteroptera	0	0,00	4	0,27	18	1,79	0	0,00
Hymenoptera	2	0,39	2	0,14	132	13,12	0	0,00
Isopoda	0	0,00	5	0,34	32	3,18	0	0,00
Isoptera	0	0,00	1172	79,14	0	0,00	20	16,26
Larva Coleoptera	30	5,86	28	1,89	0	0,00	18	14,63
Larva Diptera	2	0,39	2	0,14	0	0,00	0	0,00
Larva Lepidoptera	4	0,78	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Larva Formicidae	132	25,78	30	2,03	71	7,06	0	0,00
Lepidoptera	0	0,00	11	0,74	0	0,00	0	0,00
Oligochaeta	75	14,65	14	0,95	44	4,37	21	17,07
Psocoptera	5	0,98	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Pseudoscorpionida	0	0,00	0	0,00	2	0,20	0	0,00
Pupa Coleoptera	0	0,00	0	0,00	0	0,00	2	1,63
Sternorrhyncha	14	2,73	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Symphyla	12	2,34	5	0,34	7	0,70	2	1,63
Total	512	100	1481	100	1006	100	123	100

SPD7 – área com sistema de plantio direto com 7 anos; SPD14 - área com sistema de plantio direto com 14 anos; SPD23 - área com sistema de plantio direto com 23 anos

Tabela 13. Densidade, expressa em ind.m⁻² de cada grupo taxonômico sob os diferentes tempos de implantação de plantio direto e área referência (Floresta Atlântica), coletados na época chuvosa.

Época chuvosa (palhada de soja)								
Grupos	SPD7	Dens Relat (%)	SPD14	Dens Relat (%)	SPD23	Dens Relat (%)	Floresta Atlântica	Dens Relat (%)
Acari	0	0,00	0	0,00	0	0,00	4	0,43
Araneae	0	0,00	5	4,03	0	0,00	18	1,92
Chilopoda	2	2,94	2	1,61	16	5,03	21	2,24
Coleoptera	7	10,29	2	1,61	11	3,46	25	2,67
Diplopoda	0	0,00	20	16,13	18	5,66	16	1,71
Formicidae	0	0,00	87	70,16	203	63,84	171	18,25
Heteroptera	2	2,94	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Hymenoptera	0	0,00	0	0,00	2	0,63	0	0,00
Isopoda	0	0,00	0	0,00	0	0,00	4	0,43
Isoptera	0	0,00	0	0,00	0	0,00	629	67,13
Larva Coleoptera	16	23,53	0	0,00	32	10,06	34	3,63
Oligochaeta	41	60,29	9	7,26	32	10,06	14	1,49
Symphyla	0	0,00	0	0,00	5	1,57	2	0,21
Total	68	100	124	100	318	100	937	100

SPD7 – área com sistema de plantio direto com 7 anos; SPD14 - área com sistema de plantio direto com 14 anos; SPD23 - área com sistema de plantio direto com 23 anos

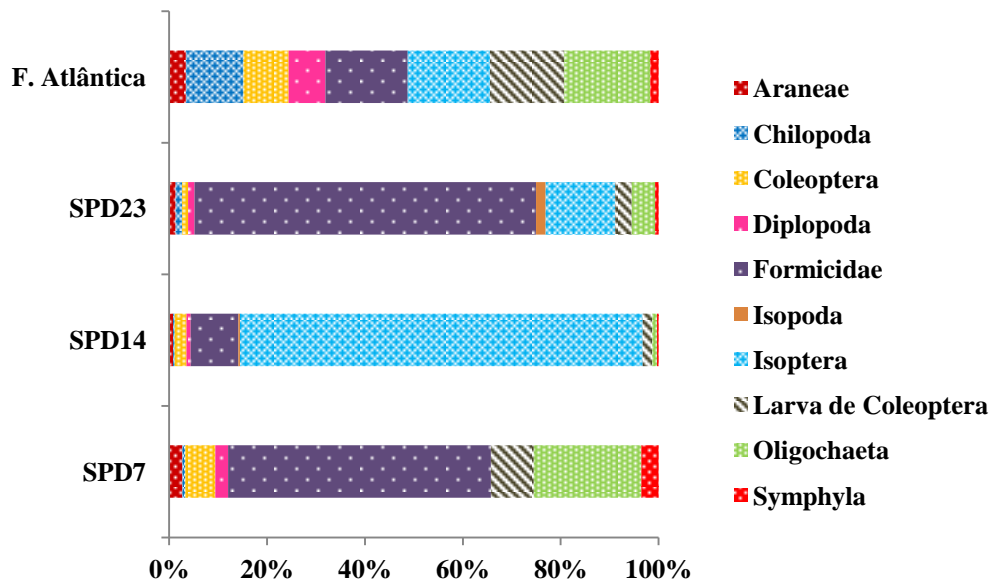


Figura 8. Distribuição dos grupos da macrofauna edáfica nas diferentes áreas de estudo na época seca.

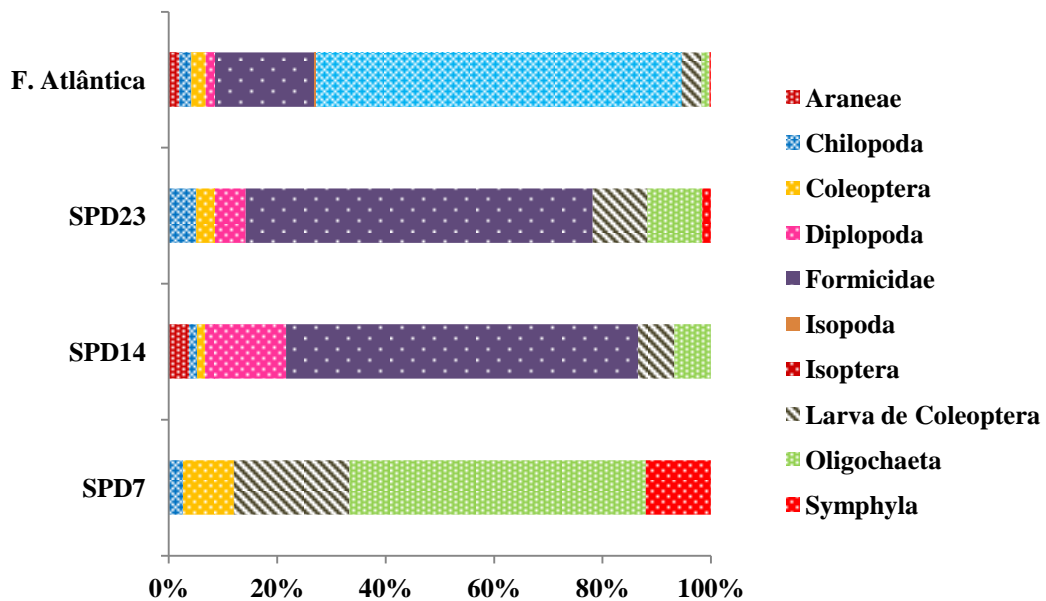


Figura 9. Distribuição dos grupos da macrofauna edáfica nas diferentes áreas de estudo na época chuvosa.

Comparando as áreas estudadas, não foram verificadas diferenças significativas de densidade de indivíduos na época seca. Na época chuvosa somente na camada de 20-30 cm, se observam diferenças significativas, quando se compara a área de referência com as áreas manejadas, onde a Floresta Atlântica apresentou maiores valores de densidade de indivíduos (387 ind.m⁻²). Fato esse relacionado à grande quantidade de indivíduos do grupo Formicidae e Isoptera, que contribuíram com 29,8% e 65,6% do total de indivíduos encontrados nessa

profundidade, contribuindo assim para o aumento do número total de indivíduos (Figura 8 e Figura 9).

Quando se comparam às épocas de coleta, se observam menores densidades na época chuvosa em todas as profundidades. Na profundidade de 0-10 cm a área SPD7 apresentou menores valores em relação às demais áreas estudadas. Na profundidade de 10-20 cm, a área SPD23 apresentou os menores valores; já na profundidade de 20-30 cm os menores valores foram observados nas áreas SPD7 e SPD14. Em ambos os casos, esse fato foi determinado pela grande quantidade de indivíduos dos grupos Formicidae e Isoptera (Tabela 14).

Avaliando a riqueza média entre as áreas nas diferentes profundidades, observam-se diferenças significativas somente na época chuvosa. Na profundidade de 0-10 cm a área SPD14 apresentou o menor número médio de grupos por amostra. Na profundidade de 10-20 cm SPD23 apresentou o menor número de riqueza média em relação às demais áreas nessa profundidade. E na de 20-30 cm a área SPD7 apresentou o menor número médio de grupos por amostra (Tabela 14).

Tabela 14. Densidade da macrofauna edáfica (Ind.m⁻²) nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm nos diferentes sistemas de manejo e épocas (seca e chuvosa).

Áreas	Ind.m ⁻²		Riqueza média	
	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa
0-10 cm				
SPD7	76 ± 24 Aa	36 ± 12 Aa	1,44 Aa	1,55 ABA
SPD14	295 ± 155 Aa	25 ± 11 Ab	3,88 Aa	0,88 Bb
SPD23	188 ± 104 Aa	267 ± 219 Aa	2,33 Aa	2,55 ABA
Floresta Atlântica	53 ± 21 Aa	284 ± 156 Aa	1,66 Ab	3,88 Aa
	CV(%) = 61,43		CV(%) = 89,39	
10-20 cm				
SPD7	59 ± 22 Aa	18 ± 5 Aa	1,66 Aa	0,88 Aa
SPD14	75 ± 41 Aa	98 ± 82 Aa	1,33 Aa	0,88 Aa
SPD23	622 ± 522 Aa	28 ± 13 Ab	2,66 Aa	1,11 Ab
Floresta Atlântica	37 ± 14 Aa	264 ± 202 Aa	1,22 Ab	2,55 Aa
	CV(%) = 67,94		CV(%) = 88,98	
20-30 cm				
SPD7	384 ± 310 Aa	23 ± 9 Bb	2,77 Aa	1,00 Ab
SPD14	1111 ± 724 Aa	11 ± 6 Bb	1,44 Aa	0,44 Aa
SPD23	196 ± 137 Aa	23 ± 8 Ba	1,77 Aa	1,33 Aa
Floresta Atlântica	32 ± 10 Ab	387 ± 135 Aa	1,33 Aa	2,22 Aa
	CV(%) = 72,20		CV(%) = 100,98	

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na mesma coluna e minúsculas iguais na mesma linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

SPD7 – área com sistema de plantio direto com 7 anos; SPD14 - área com sistema de plantio direto com 14 anos; SPD23 - área com sistema de plantio direto com 23 anos.

Para correlacionar os dados de fauna edáfica com as áreas estudadas foi utilizada a técnica multivariada de componentes principais, a fim de verificar o grau de influencia dos fatores (tempo de implantação do SPD e sazonalidade) sobre a variabilidade dos dados de macrofauna edáfica. De acordo com a análise de componentes principais (PCA), a variabilidade dos dados foi explicada em 46% na CP1 e 20,2% na CP2, totalizando 66,20% da variabilidade presente nos dados originais (Figura 10).

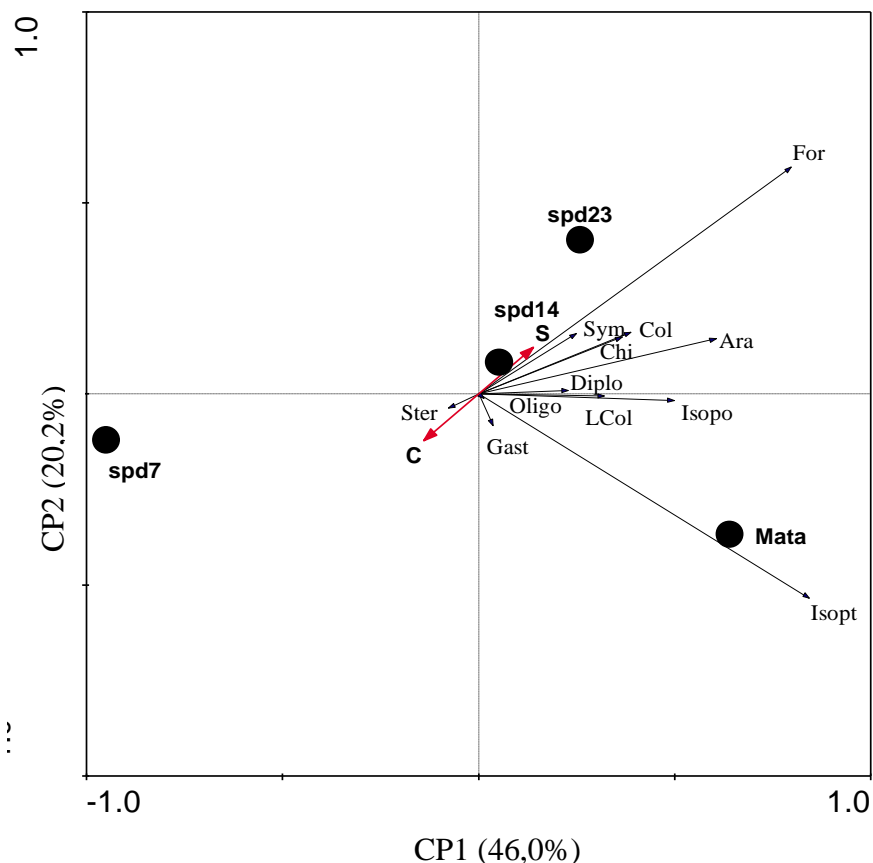


Figura 10. Relação das variáveis de macrofauna e dos fatores (tempo de adoção do SPD e sazonalidade) com os componentes principais 1 e 2 (CP 1 e CP 2).

SPD7 – área com sistema de plantio direto com 7 anos; SPD14 - área com sistema de plantio direto com 14 anos; SPD23 - área com sistema de plantio direto com 23 anos, S – época seca, C – época chuvosa. Araneae (Ara), Chilopoda (Chi), Coleoptera (Col), Diplopoda (Diplo), Formicidae (For), Gastropoda (Gast) Isopoda (Iso), Isoptera (Isopt), Isoptera (Isopt) Larva de Coleoptera (LCol), Oligochaeta (Oligo), Sternorrhyncha (Ster), Symphyla (Sym).

Observa-se na Figura 10 que o tempo de adoção do SPD exerceu forte influência sobre a comunidade da macrofauna, mostrando que quanto maior o tempo sob SPD maior a diversidade dos organismos da fauna do solo. Em sistemas mais jovens, a tendência é de ter organismos fitófagos como o Sternorrhyncha e a medida que o mesmo vai amadurecendo, com a ausência de revolvimento e adição de resíduos na superfície do solo, apresentam saprófagos e predadores, como Oligochaeta e Isopoda e Araneae. A área de referência (Floresta Atlântica) teve padrão distinto, explicado pelo ambiente heterogêneo e maior biodiversidade, comparado as áreas manejadas. O grupo que apresentou maior correlação com esse sistema foi o Isoptera. A sazonalidade não influenciou a comunidade da macrofauna do solo.

4.5.2. Agregados do Solo

a) Composição relativa

Para avaliar a composição relativa dos tipos de agregados foram comparadas as áreas estudadas nas diferentes épocas de coleta, entre as épocas de coleta, e quanto à ocorrência dos diferentes tipos de agregados dentro de cada área.

As comparações dos tipos de agregados entre as áreas e épocas de coleta (Tabela 14) mostram, para as diferentes vias de formação estudadas, diferenças significativas entre as áreas nas épocas avaliadas. Porém, entre épocas não houve diferença significativa. De

maneira geral, os agregados fisiogênicos e intermediários foram encontrados em maior proporção nas áreas manejadas, enquanto a proporção de agregados biogênicos foi maior na floresta, em ambas as épocas de amostragem, corroborando dados de Batista (2015).

Tabela 15. Composição relativa dos tipos morfológicos de agregados nas duas épocas de avaliação (seca e chuvosa) na camada de 0-10 cm do solo.

Áreas	Vias de agregação, %					
	Fisiogênico		Intermediário		Biogênico	
	S	C	S	C	S	C
SPD7	35,57 ABa	41,78 Aa	36,49 Aa	30,59 Aa	26,92 Ba	27,62 Ba
SPD14	31,74 ABa	34,29 Aa	37,07 Aa	32,04 ABa	30,35 Ba	33,65 Ba
SPD23	47,51 Aa	41,95 Aa	32,71 Aa	39,09 Aa	19,66 Ba	18,80 Ca
Floresta Atlântica	21,28 Ba	21,12 Ba	27,48 Aa	25,04 Ba	51,24 Aa	53,81 Aa
	CV(%) = 29,43		CV(%) = 18,85		CV(%) = 25,18	

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na mesma coluna e minúsculas iguais na mesma linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

SPD7 – área com sistema de plantio direto com 7 anos; SPD14 - área com sistema de plantio direto com 14 anos; SPD23 - área com sistema de plantio direto com 23 anos. F – Fisiogênico, I – Intermediário e B – Biogênico, S – época seca, C – época chuvosa.

Portanto, pressupõe-se a ocorrência de maior atividade biológica nas áreas sob vegetação nativa, e consequentemente maior quantidade de agregados de origem biogênica. A vegetação é um fator importante na formação de agregados, seja pela ação mecânica das raízes ou pela liberação de substâncias com ação cimentante. De forma indireta, fornece alimentos à fauna do solo (Kiehl, 1979), que ao metabolizar esse alimento libera resíduos que são denominados coprólitos fecais ou agregados biogênicos. Geralmente em áreas de vegetação nativa encontra-se maior diversidade de espécies, fazendo com que esses ambientes tenham características particulares, ou seja, maior diversidade de plantas, diferentes sistemas radiculares e biomassa vegetal serão encontrados, o que irá influenciar na atividade da fauna do solo e no processo de formação de agregados.

Segundo Campos et al. (1999), a biomassa vegetal contribui para maior aporte de carbono e também influencia nas propriedades do solo, pois forma uma camada protetora contra a ação direta das gotas de chuva, mantendo uniforme a temperatura e umidade, favorecendo assim o desenvolvimento do sistema radicular e a atividade microbiana e consequentemente cria um ambiente mais favorável a agregação. Velásquez et al. (2007), estudando florestas naturais e plantações de café sombreado, observaram comunidade de macrofauna abundante, sendo associada à maior proporção de agregados de origem biogênica.

O processo de agregação envolve uma gama de atributos, processos e organismos do solo. Os microrganismos são citados em diversos estudos como atuantes nos modelos de agregação (Oades, 1984; Tisdall e Oades, 1982; Six et al., 2000, 2002). As bactérias participam do processo de agregação, soldando microagregados com polissacarídeos (Chenu, 1993). As hifas fúngicas também participam do processo de agregação, unindo partículas do solo em redes temporárias, criando assim uma estrutura macroagregada que poderá ser estabilizada por substâncias cimentantes (Plante e McGill, 2002).

Os organismos maiores, considerados “engenheiros do ecossistema” (minhocas, cupins, formigas e outros invertebrados), que regulam a disponibilidade de recursos a outras espécies (Jones et al., 1994; Jouquet et al., 2006), também são fundamentais nos processos de agregação do solo. As galerias e os coprólitos desses animais são definidos como estruturas

biogênicas (Rossi et al., 2006), que causam alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Lafont, 2007), sendo importantes na formação e manutenção da fertilidade em agroecossistemas (Hendrix, 1995).

As minhocas, por exemplo, podem construir estruturas biogênicas altamente estáveis e em grandes quantidades, pois de todo material ingerido e processado em seu intestino, menos de 10 % é assimilado, restando nas fezes, muito material disponível e em diferentes níveis de transformação. Segundo Lavelle (1978), as minhocas da savana, na região da Costa do Marfim, liberam anualmente 800 a 1000 toneladas de peso seco por hectare, que pode conter uma quantidade significativa de matéria orgânica. Lavelle et al. (2004), afirmam que minhocas endogeicas (que vivem no interior do solo), depositam coprólitos com conteúdo significativo de matéria orgânica.

As substâncias adicionadas ao material ingerido pelas minhocas permanecem nos excrementos, aumentando as taxas de mineralização por curto período de tempo, até que os coprólitos comecem a secar, e o processo de decomposição da matéria orgânica, mineralização de nutrientes e atividade microbiana tende a estabilizar, e com isso, atingindo muitas vezes níveis inferiores aos observados no solo não ingerido (Brown et al., 2000). Portanto, essa sequência de eventos, é considerada de suma importância para a regulação da matéria orgânica, para o estoque de carbono e para a formação de macro e microagregados (Longsdon e Linden., 1992; Pulleman et al., 2004; Blouin et al., 2006; Lavelle et al., 2006).

Comparando os diferentes tipos de agregados dentro de cada área manejada e a área referência, observa-se em ambas as épocas de coleta que a área SPD7 apresentou maiores proporções dos agregados fisiogênicos e intermediários. A área SPD23 apresentou maiores proporções de agregados fisiogênicos e a área referência apresentou maiores proporções de agregados biogênicos (Figura 11 e Figura 12). Esse padrão seguiu a mesma tendência da discussão relacionada à Tabela 16, onde as áreas manejadas apresentaram maiores proporções de agregados fisiogênicos e intermediários, enquanto a área de floresta apresentou maior proporção de agregados biogênicos, mostrando maior atividade biológica nessas áreas.

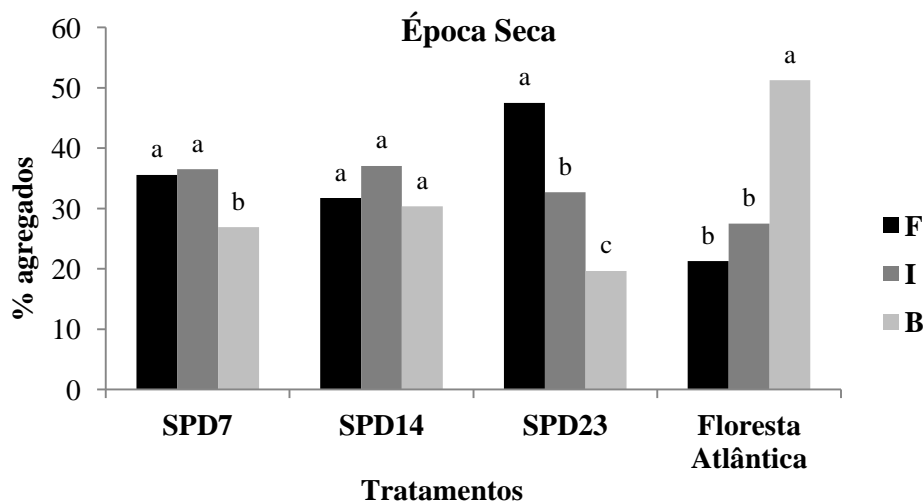


Figura 11. Valores médios dos tipos de agregados nas diferentes áreas estudadas na época seca.

F- Fisiogênico, I – Intermediário, B – Biogênico. Valores seguidos de letras minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

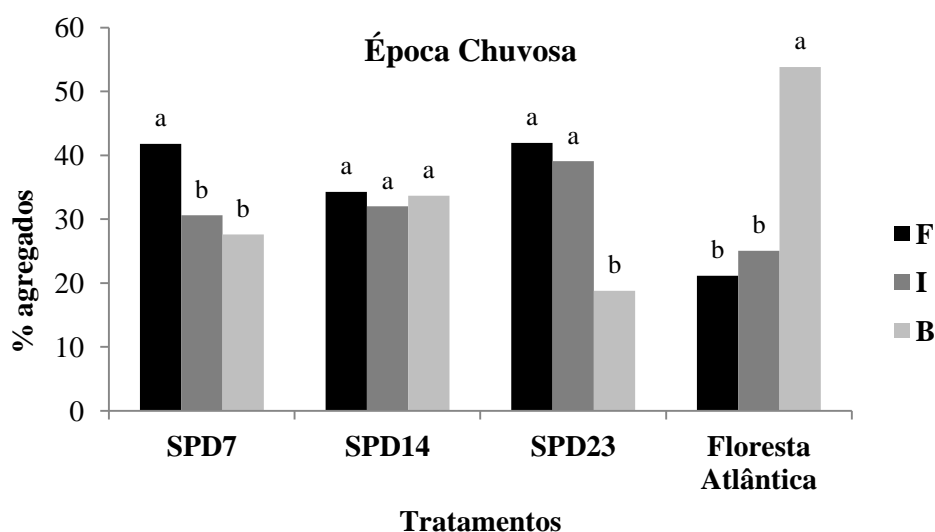


Figura 12. Valores médios dos tipos de agregados nas diferentes áreas estudadas na época chuvosa.

F- Fisiogênico, I – Intermediário, B – Biogênico. Valores seguidos de letras minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

b) Conteúdo de carbono orgânico nos tipos morfológicos de agregados

Para o teor de COT, foram comparadas as áreas estudadas nas diferentes épocas de coleta, entre as épocas de coleta, e quanto ao conteúdo de COT nos diferentes agregados em cada área (Tabela 16).

Comparando as áreas estudadas, os teores de COT na área de referência foram maiores para todos os tipos de agregados (Tabela 16), em ambas as épocas. Esse padrão pode ser atribuído à quantidade e qualidade dos resíduos vegetais depositados na superfície do solo, com constante aporte de carbono orgânico nesse ambiente. Em função da diversidade vegetal, a composição dos resíduos também é diversificada, o que influencia no tempo de decomposição do material, garantindo maior permanência do carbono no solo.

A diversidade vegetal promove a diversidade de organismos que vivem no solo, em função do aumento de recursos alimentares. Essa heterogeneidade de recursos, habitat, e condições de temperatura e umidade pode favorecer diversidade de organismos decompositores (Hooper et al., 2000). Contudo, além da vegetação modificar o ambiente favorecendo os organismos edáficos, estes também modificam o ambiente e afetam o desenvolvimento das plantas. Organismos como cupins, formigas e minhocas podem propiciar mudanças no ecossistema, como já foi discutido. As mudanças proporcionadas por esses organismos influenciam processos como a mineralização e sequestro de carbono em agregados estáveis (Hooper et al., 2000; Lavelle, 1997; Lavelle et al., 1994).

Já quando se compara o conteúdo de COT de todos os tipos de agregados, entre as épocas, observa-se que os teores de carbono reduziram na época chuvosa em algumas áreas. Para os agregados fisiogênicos o conteúdo de COT foi menor na área SPD14 e na área de referência. Para os intermediários o conteúdo de COT foi menor nas áreas SPD7 e SPD14. E para os biogênicos, os menores teores foram encontrados na área de referência. Esse padrão mostra que a cobertura vegetal e a sazonalidade exercem influência sobre o conteúdo de carbono nas diferentes vias de formação de agregados. O menor conteúdo de carbono nessas áreas pode ser atribuído à cobertura vegetal. Como nessa época a cobertura presente era a palhada da soja, onde se tem menor quantidade de resíduos sobre a superfície do solo e menor

relação C/N, a decomposição desse material ocorre de forma mais rápida, disponibilizando o carbono rapidamente para as culturas subsequentes.

Tabela 16. Teores médios de carbono orgânico total (COT) dos tipos de agregados nas áreas e épocas estudadas.

Áreas	Época seca				Época chuvosa	
	COT					
	Fisiogênico		Intermediário		Biogênico	
	S	C	S	C	S	C
SPD7	21,72 Ba	18,71 Ba	22,45 Ba	18,05 Bb	20,39 Ba	17,89 Ba
SPD14	25,06 ABa	20,32 ABb	24,87 Ba	20,93 ABb	22,32 Ba	25,01 Aa
SPD23	25,29 ABa	22,66 ABa	24,24 Ba	22,60 Aa	23,31 Ba	26,09 Aa
Floresta Atlântica	29,07 Aa	24,57 Ab	31,17 Aa	24,32 Ab	33,37 Aa	26,83 Ab
	CV(%) = 10,48		CV(%) = 9,90		CV(%) = 10,20	

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na mesma coluna e minúsculas iguais na mesma linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

SPD7 – área com sistema de plantio direto com 7 anos; SPD14 - área com sistema de plantio direto com 14 anos; SPD23 - área com sistema de plantio direto com 23 anos. F – Fisiogênico, I – Intermediário e B – Biogênico, S – época seca, C – época chuvosa.

O conteúdo de COT nos diferentes tipos de agregados e dentro de cada área é apresentado na Tabela 17. Na época seca somente foram observadas diferenças significativas na área de referência, com maior quantidade de COT observada nos agregados biogênicos. Na época chuvosa as áreas SPD14, SPD23 e a área de referência apresentaram o mesmo padrão, com maiores teores de COT nos agregados biogênicos. Esses dados corroboram os resultados encontrados por Bossuyt et al. (2005), Pulleman et al. (2005), Silva Neto et al. (2010), Batista et al. (2013) e Loss et al. (2014b).

Tabela 17. Teores médios de carbono orgânico total (COT) nos diferentes tipos de agregados nas áreas e épocas estudadas.

Áreas	Época seca			Época chuvosa		
	COT					
	F	I	B	F	I	B
SPD7	21,72 a	22,45 a	20,39 a	18,71 a	18,05 a	17,89 a
SPD14	25,06 a	24,87 a	22,32 a	20,32 b	20,93 b	25,01 a
SPD23	25,29 a	24,24 a	23,31 a	22,66 b	22,60 b	26,09 a
Floresta Atlântica	29,07 b	31,17 ab	33,37 a	24,57 b	24,32 b	26,83 a

Valores seguidos por letras minúsculas iguais na mesma linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%. SPD7 – área com sistema de plantio direto com 7 anos; SPD14 - área com sistema de plantio direto com 14 anos; SPD23 - área com sistema de plantio direto com 23 anos. F – Fisiogênico, I – Intermediário e B – Biogênico.

Segundo Pulleman et al. (2005), o enriquecimento de carbono em estruturas biogênicas indica seletiva alimentação do material orgânico pelos organismos, aumentando o conteúdo de carbono nesses agregados. Geralmente o teor de carbono orgânico e a atividade microbiana são maiores em coprólitos quando comparados à camada de 0-5 cm do solo, afirmaram Marashi e Scullion (2003).

Haynes e Fraser (1998), estudando o efeito de resíduos vegetais na estabilidade de coprólitos e solo não ingerido, relatam que a incorporação de resíduos orgânicos nessas estruturas influenciou a sua estabilização, sendo estes mais estáveis quando comparados com o solo não ingerido. Esse fato está relacionado à oclusão de fragmentos e resíduos orgânicos na matriz do solo ocasionadas pelo trânsito intestinal, sendo que, estes fragmentos tornam-se focos de estabilização por meio de mucilagens excretadas pela microflora e ligações entre os componentes minerais do solo e resíduos humificados.

Além da quantificação do COT do solo, o carbono foi avaliado quanto a qualidade, através dos métodos físico granulométrico e químico, ou seja, em qual forma o carbono se encontrava. Podendo estar mais biodisponível, ou seja, parte de frações mais lábeis como o carbono orgânico particulado (COp) e os ácidos fúlvicos e húmicos; ou mais estável, como no carbono orgânico associado aos minerais (COam) e a humina.

c) Fracionamento granulométrico da matéria orgânica dos agregados

Para o teor de COp e COam, foram realizadas comparações entre as áreas estudadas nas diferentes épocas de coleta, entre as épocas de coleta (Tabela 18), e o conteúdo de COp e COam nos diferentes tipos de agregados dentro de cada área (Tabela 19).

Para o COp, foram observadas diferenças significativas entre as áreas estudadas somente na época seca. Comparando as áreas, observa-se maiores teores de COp nos agregados fisiogênicos e intermediários na área SPD7. Enquanto nos agregados biogênicos os menores teores de COp foram encontrados na área referência. Esse comportamento pode ser explicado pela atividade da fauna do solo, que ocorre nos agregados biogênicos, decompondo esse COp mais rapidamente. E como a área SPD7 é a mais recente com SPD, ou seja, ainda deve haver influência do manejo anterior (SPC), o acúmulo de palha é menor em relação as outras áreas e a colonização da fauna do solo ocorre pelos organismos mais simples da cadeia trófica, os fitófagos.

Portanto o carbono está se acumulando nessa fração, mostrando assim que quanto maior o tempo de implantação do SPD maior o acúmulo de carbono nas frações mais estabilizadas. Teoricamente quanto maior o tempo de SPD, maior a oferta de recursos alimentares e conseqüentemente mais complexas são as comunidades da fauna do solo, onde já se tem presença de organismos decompositores, e com isso ocorre maior decomposição do COp e acúmulo de frações mais estabilizadas, como o COam.

Para o COam, observa-se interação significativa entre áreas e sazonalidade (Tabela 18). Comparando as áreas estudadas, em ambas as épocas de coleta, observa-se que maiores teores de COam foram encontrados na área de referência. E comparando o teor de COam nos diferentes tipos de agregados, entre as épocas de coleta, os menores teores de COam foram observados na época chuvosa na área de referência em todos os tipos de agregados. E nos agregados fisiogênicos na área SPD14, também na época chuvosa.

Comparando os teores de COp entre os diferentes tipos de agregados e dentro de cada área, observa-se que menores teores de COp foram encontrados nos agregados biogênicos na área SPD7 na época seca (Tabela 19).

Para o COam, maiores teores foram observados na área de mata nos agregados biogênicos na época seca. E na época chuvosa, os maiores teores também foram encontrados nos agregados biogênicos nas áreas SPD14 e SPD23. A área SPD7 e a área de referência não apresentaram diferenças significativas (Tabela 19), corroborando resultados encontrados por Loss et al. (2014b) e Batista (2015), que também encontraram maiores teores de COam em agregados biogênicos.

Tabela 18. Teores de carbono orgânico particulado (COp) e carbono orgânico associado aos minerais (Coam) nas diferentes áreas e épocas estudadas.

Áreas	COP					
	Fisiogênico		Intermediário		Biogênico	
	S	C	S	C	S	C
SPD7	2,81 Aa	1,02 Aa	2,67 Aa	0,85 Aa	1,82 Aa	1,14 Aa
SPD14	1,25 Ba	1,07 Aa	1,41 ABa	0,97 Aa	1,37 ABa	1,05 Aa
SPD23	0,88 Ba	1,10 Aa	1,10 Ba	1,20 Aa	1,52 ABa	1,09 Aa
Floresta Atlântica	0,34 Ba	1,28 Aa	0,54 Ba	1,40 Aa	0,46 Ba	1,65 Aa
	CV(%) = 65,22		CV(%) = 62,13		CV(%) = 61,24	
Áreas	COam					
	Fisiogênico		Intermediário		Biogênico	
	S	C	S	C	S	C
SPD7	18,91 Ca	17,68 Ba	19,78 Ba	17,19 Ba	18,56 Ba	16,74 Ba
SPD14	23,80 Ba	19,24 ABb	23,45Ba	19,95 ABa	20,95 Ba	23,95 Aa
SPD23	24,40 Ba	21,56 ABa	23,14 Ba	21,39 Aa	21,79 Ba	24,99 Aa
Floresta Atlântica	28,72 Aa	23,29 Ab	30,62 Aa	22,92Ab	32,91 Aa	25,17 Ab
	CV(%) = 10,82		CV(%) = 9,89		CV(%) = 10,95	

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na mesma coluna e minúsculas iguais na mesma linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

SPD7 – área com sistema de plantio direto com 7 anos; SPD14 - área com sistema de plantio direto com 14 anos; SPD23 - área com sistema de plantio direto com 23 anos. F – Fisiogênico, I – Intermediário e B – Biogênico, S – época seca, C – época chuvosa.

Tabela 19. Teores médios de carbono orgânico particulado (COp) e carbono orgânico associado aos minerais (Coam) nos diferentes tipos de agregados nas áreas e épocas estudadas.

Áreas	Época seca			Época chuvosa		
	F	I	B	F	I	B
	COp					
SPD7	2,81 a	2,67 ab	1,82 b	1,02 a	0,85 a	1,14 a
SPD14	1,25 a	1,41 a	1,37 a	1,07 a	0,97 a	1,05 a
SPD23	0,88 a	1,10 a	1,52 a	1,10 a	1,20 a	1,09 a
Floresta Atlântica	0,34 a	0,54 a	0,46 a	1,28 a	1,40 a	1,65 a
Áreas	COam					
	F	I	B	F	I	B
	COam					
SPD7	18,91 a	19,78 a	18,56 a	17,68 a	17,19 a	16,74 a
SPD14	23,80 a	23,45 a	20,95 a	19,24 b	19,95 b	23,95 a
SPD23	24,40 a	23,14 a	21,79 a	21,56 b	21,39 b	24,99 a
Floresta Atlântica	28,72 b	30,62 ab	32,91 a	23,29 a	22,92 a	25,17 a

Valores seguidos por letras minúsculas iguais na mesma linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%. SPD7 – área com sistema de plantio direto com 7 anos; SPD14 - área com sistema de plantio direto com 14 anos; SPD23 - área com sistema de plantio direto com 23 anos. F – Fisiogênico, I – Intermediário e B – Biogênico.

De acordo com Figueiredo et al. (2010), na dinâmica entre as frações lábeis e estáveis da matéria orgânica, entre sistemas de manejo e vegetação nativa, há correlação negativa entre COp e COam, indicando que os processos de formação dessas frações ocorrem de forma inversa, ou seja, para que se tenha maior formação de COam, é necessário que ocorra maior decomposição de COp, para que este se associe as partículas minerais do solo de tamanho silte e argila. Esse padrão foi verificado nesse estudo, onde os teores de COp diminuíram em função do tempo de implantação e os teores de COam tenderam a aumentar.

Corroborando com Figueiredo et al. (2010), observa-se que os valores de COam foram maiores que os valores de COp, indicando que a maior parte do carbono orgânico está associado aos minerais. De forma geral, esse resultado mostra que a matéria orgânica presente em ambos os tipos de agregados e áreas estudadas apresenta elevado grau de humificação, devido à ausência de revolvimento do solo e ao abundante aporte de resíduos vegetais na superfície do mesmo, favorecendo a atividade microbiana e dessa forma aumentando o carbono na fração associada aos minerais.

d) Fracionamento químico da matéria orgânica dos agregados

Para complementar esse estudo, também foi realizado o fracionamento químico da matéria orgânica nos diferentes tipos de agregados.

Segundo Cunha et al. (2000), Pinheiro et al. (2004), uma das formas de avaliar a qualidade da MOS tem sido a quantificação do teor de carbono relacionado às substâncias húmicas, que constituem de 85 a 90% da MOS e influenciam nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Portanto, segundo Bayer et al. (2002), a caracterização das substâncias húmicas e suas proporções na MOS são essenciais para entender o comportamento dos diferentes sistemas agrícolas.

Os teores de carbono das frações ácido fúlvico (FAF), ácido húmico (FAH) e humina (HUM) estão apresentados em duas tabelas. Na Tabela 20 os dados foram comparados entre as áreas estudadas nas duas épocas de coleta e entre essas épocas. Já na Tabela 21, os dados foram comparados entre os tipos de agregados dentro de cada área estudada.

Portanto, comparando os teores de C nas frações FAF e FAH entre as áreas estudadas, foram observados maiores valores na área de referência em todos os tipos de agregados. Entre as épocas, não houve diferença significativa, exceto para a área de referência que apresentou menores valores de carbono na FAH nos agregados biogênicos na época chuvosa. O teor de carbono na fração humina apresentou comportamento semelhante quando se compara as áreas, apresentando maiores valores na área referência.

Entre as épocas de coleta, foram observadas algumas diferenças significativas, onde os menores valores foram encontrados na época chuvosa para todos os tipos de agregados. Nos agregados fisiogênicos os menores valores de carbono foram encontrados na área de mata, e para os agregados intermediários e biogênicos os menores valores foram observados nas áreas SPD7, SPD23 e na área de referência.

Esse padrão pode estar relacionado à cobertura vegetal presente nas áreas. Na área de floresta, como o aporte de resíduos é maior e constante o processo de humificação acontece de forma completa. E os menores valores de carbono na fração humina encontrados na época chuvosa nas áreas manejadas segue o mesmo padrão, pois nessa época a cobertura do solo era palhada de soja, que gera pouca quantidade de resíduos e cuja decomposição ocorre de forma mais rápida, em função da sua baixa relação C/N. Ao contrário da soja, a palhada do milho na época seca, apresenta elevada produção de resíduos vegetais de alta relação C/N, o que mantém o solo coberto por mais tempo e o processo de decomposição ocorre lentamente.

Barreto et al. (2008) atribuíram os maiores valores de carbono na fração ácidos fúlvicos à maior quantidade de resíduos depositados na superfície do solo em áreas de pastagem. De acordo com Araújo et al. (2011), em solos não manejados, como os solos sob

vegetação nativa, as etapas do processo de humificação realizam-se plenamente, resultando em maior proporção de frações mais estáveis e de maior estabilidade estrutural, como a fração humina.

Tabela 20. Teores de carbono nas frações ácidos fúlvicos (FAF), ácidos húmicos (FAH) e humina (HUM) nos diferentes tipos de agregados nas áreas e épocas estudadas.

Áreas	C-FAF					
	Fisiogênico		Intermediário		Biogênico	
	S	C	S	C	S	C
SPD7	2,29 Ba	1,57 Ba	2,13 Ba	1,61 Ba	2,19 Ca	2,07 Ca
SPD14	2,48 Ba	2,17 Ba	2,47 Ba	2,19 Ba	2,87 Ba	2,90 Ba
SPD23	2,59 Ba	2,06 Ba	2,44 Ba	2,38 Ba	2,49 BCa	2,33 BCa
Floresta Atlântica	3,64 Aa	3,24 Aa	3,81 Aa	3,51 Aa	4,29 Aa	4,24 Aa
	CV(%) = 20,16		CV(%) = 19,74		CV(%) = 15,75	
	C-FAH					
	Fisiogênico		Intermediário		Biogênico	
	S	C	S	C	S	C
SPD7	1,86 ABa	1,92 Aa	2,00 Ba	1,79 Ba	2,20 Ba	2,10 Ba
SPD14	2,20 ABa	2,37 Aa	2,23 Ba	2,40 ABa	2,75 Ba	3,13 Aa
SPD23	1,78 Ba	2,48 Aa	1,93 Ba	2,40 ABa	2,21 Ba	2,71 ABa
Floresta Atlântica	2,89 Aa	2,95 Aa	3,37 Aa	3,27 Aa	3,80 Aa	3,22 Ab
	CV(%) = 28,40		CV(%) = 24,02		CV(%) = 20,86	
	C-HUM					
	Fisiogênico		Intermediário		Biogênico	
	S	C	S	C	S	C
SPD7	21,14 Ba	19,18 Aa	19,88 Ba	14,40 Bb	18,51ABa	12,03Cb
SPD14	20,42 Ba	19,42 Aa	21,12 ABa	17,07 ABa	17,06 Ba	18,57 ABa
SPD23	23,03 ABa	19,42 Aa	25,56Aa	14,19 Bb	22,13 ABa	16,82 Bb
Floresta Atlântica	27,91 Aa	20,44 Ab	29,07 Aa	20,59 Ab	24,83 Aa	21,14 Ab
	CV(%) = 15,16		CV(%) = 15,98		CV(%) = 15,59	

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na mesma coluna e minúsculas iguais na mesma linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

SPD7 – área com sistema de plantio direto com 7 anos; SPD14 - área com sistema de plantio direto com 14 anos; SPD23 - área com sistema de plantio direto com 23 anos. F – Fisiogênico, I – Intermediário e B – Biogênico, S – época seca, C – época chuvosa.

Os valores de carbono na fração HUM foram maiores que os valores nas frações FAF e FAH em todos os tipos de agregados e áreas estudadas. Esses dados corroboram com alguns estudos em solos encontrados na literatura (Bezerra et al., 2013; Caetano et al., 2013; Campos et al., 2013; Guareschi, Pereira e Perin, 2013).

Esse padrão sugere grau avançado de humificação da MOS, pois a HUM é uma fração de grande estabilidade (Fontana et al., 2006), resistente à biodegradação devido à complexação com íons metálicos e, ou argilohúmicos estáveis (Barreto et al., 2008; Benites, Madari e Machado, 2003), ou pelo simples fato das frações FAF e FAH serem menos estáveis, sendo submetidas à processos de polimerização e mineralização, com mais fácil movimentação ao longo do perfil do solo (Fontana et al., 2006).

O equilíbrio entre as formas estáveis e mineralizáveis da MOS é primordial para a qualidade do solo. Essas frações apresentam alto dinamismo e são influenciadas pela qualidade (relação C/N) e quantidade de resíduos ao solo, condições climáticas e manejo adotado (Zhongkui, Wang e Sun, 2010).

Comparando os diferentes tipos de agregados dentro de cada área estudada (Tabela 21), observam-se algumas diferenças significativas em ambas as épocas de coleta. Na época seca, somente as frações FAF e FAH apresentaram diferenças significativas, sendo os maiores valores encontrados na área de mata nos agregados biogênicos. Na época chuvosa, os maiores teores de carbono nas frações FAF e FAH também foram encontrados nos agregados biogênicos, porém a fração FAF foi encontrada nas áreas SPD14 e na área referência. E a FAH na área SPD14.

Tabela 21. Teores médios de carbono nas frações ácidos fúlvicos (FAF), ácidos húmicos (FAH) e humina (HUM) nos diferentes tipos de agregados nas áreas e épocas estudadas.

	Época seca			Época chuvosa		
	F	I	B	F	I	B
Áreas	C-FAF					
SPD7	2,29 a	2,13 a	2,19 a	1,57 a	1,61 a	2,07 a
SPD14	2,48 a	2,47 a	2,87 a	2,17 b	2,19 b	2,90 a
SPD23	2,59 a	2,44 a	2,49 a	2,06 a	2,38 a	2,33 a
Floresta Atlântica	3,64 b	3,81 ab	4,29 a	3,24 b	3,51 b	4,24 a
	F	I	B	F	I	B
Áreas	C-FAH					
SPD7	1,86 a	2,00 a	2,20 a	1,92 a	1,79 a	2,10 a
SPD14	2,20 a	2,23 a	2,75 a	2,37 b	2,40 ab	3,13 a
SPD23	1,78 a	1,93 a	2,21 a	2,48 a	2,40 a	2,71 a
Floresta Atlântica	2,89 b	3,37 ab	3,80 a	2,95 a	3,27 a	3,22 a
	F	I	B	F	I	B
Áreas	FAH					
SPD7	21,14 a	19,88 a	18,51 a	19,18 a	14,40 b	12,03 c
SPD14	20,42 a	21,12 a	17,06 a	19,42 a	17,07 ab	18,57 b
SPD23	23,03 a	25,56 a	22,13 a	19,42 a	14,19 c	16,82 b
Floresta Atlântica	27,91 a	29,07 a	24,83 a	20,44 a	20,59 a	21,14 a

Valores seguidos por letras minúsculas iguais na mesma linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%. SPD7 – área com sistema de plantio direto com 7 anos; SPD14 - área com sistema de plantio direto com 14 anos; SPD23 - área com sistema de plantio direto com 23 anos. F – Fisiogênico, I – Intermediário e B – Biogênico.

Quando se analisa o teor de carbono na fração HUM, verificam-se diferenças somente nas áreas manejadas, onde os maiores teores foram encontrados nos agregados fisiogênicos. Os agregados biogênicos nessas áreas podem ter sido degradados e com o passar do tempo e a dinâmica de agregação, terem se transformados em agregados intermediários ou fisiogênicos, o que justifica a maior quantidade da fração HUM nesses agregados.

4.6. CONCLUSÕES

A maior densidade e riqueza total de indivíduos da microfauna foram encontradas nas áreas SPD14 e SPD23 na época seca, porém não foram observados maiores índices de equabilidade, devido à dominância dos grupos Formicidae e Isoptera.

As áreas com maiores valores de equabilidade foram à área de referência na época seca e a área SPD23 na época chuvosa, com valores de 0,87 e 0,61 respectivamente.

Os agregados biogênicos foram encontrados em maior proporção na área de referência, enquanto os fisiogênicos e intermediários foram encontrados em maiores proporções nas áreas manejadas.

Os teores de COT foram maiores nos agregados biogênicos, assim como o do carbono orgânico associado aos minerais (COam).

O teor de carbono na fração humina não apresentou diferença significativa na época seca, enquanto na época chuvosa o teor foi maior nos agregados fisiogênicos, indicando que os agregados biogênicos da época seca, originaram aos agregados fisiogênicos da época chuvosa.

5. CONCLUSÕES GERAIS

Os atributos químicos e os estoques de carbono e nutrientes foram atributos sensíveis à sazonalidade e a cobertura vegetal na superfície do solo. O sistema de sucessão de culturas soja (verão) e milho/trigo (inverno) sob sistema de plantio direto proporcionou aumento lento e gradual nos teores e estoques de carbono e nutrientes do solo.

Observa-se um gradiente em relação ao tempo de implantação do SPD, que influenciou na estrutura da comunidade da macrofauna do solo, onde a medida que o sistema vai amadurecendo organismos saprófagos e predadores vão colonizando esse ambiente. A sazonalidade não influenciou a estrutura da comunidade.

Os agregados biogênicos foram encontrados em maior proporção na área de referência, enquanto os fisiogênicos e intermediários foram encontrados em maiores proporções nas áreas manejadas.

Os agentes biológicos alteraram a dinâmica da matéria orgânica associada aos agregados do solo, pois nos agregados biogênicos foram encontrados menores teores de CO_p e maiores teores de CO_{am}.

Os teores de carbono na fração húmica não apresentaram diferenças significativas na época seca, enquanto na época chuvosa foram maiores nos agregados fisiogênicos. Esse padrão sugere que agregados da época seca podem ter sido degradados originando os agregados fisiogênicos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FIORIN, J.E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C.; FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo. I- Efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. *Rev. Bras. Ci Solo*, v.19, n.1, p.115-119, 1995.
- ALVARENGA, R.C.; COSTA, L.M.; FILHO MOURA, W.; REGAZZI, A.J. Crescimento de raízes de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. *Rev. Bras. Ci Solo*, v.20, n.2, p.319-326, 1996.
- ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. *Tropical Soil Biological and Fertility: a handbook of methods*. 2 ed. Wallingford: CAB International, 221p. 1993.
- ANGERS, D.A. & MEHUYS, G.R. Effects of cropping on carbohydrate content and water stable aggregation of a clay soil. *Can. J. Soil Sci.*, 69:373-380, 1989.
- ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M.G.; FONTANA, A. Matéria orgânica e pedogênese. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Org.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo em ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2ª ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. P. 65-86.
- AQUINO, A.M. de; SILVA, R.F. da; MERCANTE, F.M.; CORREIA, M.E.F.; GUIMARÃES, M. de F.; LAVELLE, P. Invertebrate soil macrofauna under different ground cover plants in the no-till system in the Cerrado. *European Journal of Soil Biology*, v.44, p.91-97, 2008.
- ARAÚJO, M.A.; TORMENA, C.A.; WATANABE, S.H.; PINTRO, J.C.; COSTA, A.C.S. & MATA, J.D.V. Avaliação do impacto do cultivo nas características químicas e na agregação de um Latossolo Vermelho Distrófico do noroeste do Paraná. *Acta Sci.*, 22:1045-1053, 2000.
- ARROUAYS, D.; MARCHANT, B. P.; SABY, N. P. A.; MEERSMANS, J.; ORTON, T. G.; MARTIN, M. P.; BELLAMY, P. H.; LARK, R.M.; KIBBLEWHITE, M. Generic issues on broad-scale soil monitoring schemes: a review. *Pedosphere*, v. 22, n.4, p. 456–69, 2012.
- ARSHAD, M.A.; MARTIN, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 88, p. 153-160, 2002.
- ARSHAD, M.A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Ed.). *Methods for assessing soil quality*. Madison: Soil Science Society of America. p.123-141, 1996. (SSSA special publication, 49).
- ASSAD, M.L.L. Fauna do solo. In: VARGAS, M.A.T.; HUNGRIA, M., (Eds) *Biologia dos solos dos cerrados*. Planaltina: EMBRAPA-CPAC. p.363-443, 1997.
- ASSIS, C.P.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E.S.; NEVES, J.C.L. Carbono e nitrogênio em agregados de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41:1541-1550, 2006.
- AUDEH, S.J.S.; LIMA, A.C.R.; CARDOSO, I.M.; CASALINHO, H. D.; JUCKSCH, I. J. Qualidade do solo: uma visão etnopedológica em propriedades agrícolas familiares produtoras de fumo orgânico. *Revista Brasileira de Agroecologia*, n.6, v.3, p 34 – 48. 2011.
- AUNE, J. B., LAL, R. The tropical soil productivity calculator a model for assessing effects of soil management on productivity. In: LAL, R., STEWART, B.A. (Ed.), *Soil Management*

Experimental Basis for Sustainability and Environmental Quality. London, UK, Adv. Soil Sci., Lewis Publishers, p. 499 – 520, 1997.

BALDOCK, J.A. & NELSON, P.N. Soil organic matter. In: SUMNER, M.E. (Ed.). Handbook of soil science. Boca Raton: CRC Press, 2000. p. 25-84.

BARBOSA FILHO, M. P.; FAGERIA, N. K.; ZIMMERMANN, F. J. P. Atributos de fertilidade do solo e produtividade do feijoeiro e da soja influenciados pela calagem em superfície e incorporada. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 29, n. 3, p. 507-514, 2005.

BARDGETT, R. D. The biology of soil: A community and ecosystem approach. Oxford: Oxford University Press, 2005. 232 p.

BARETTA, D.; SANTOS, J.C.P.; SEGAT, J.C., GEREMIA, E.V.; OLIVEIRA- FILHO, L.C.L.; ALVES, M.V. Fauna edáfica e qualidade do solo. In KLAUBERG – FILHO, O.; MAFRA, A.L.; GATIBONI, LC. Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.7, p. 141-192, 2011.

BARRETO, A.C.; LIMA, F.H.S.; FREIRE, M.B.G.S.; ARAÚJO, Q.R.; FREIRE, F.J. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no sul da Bahia. *Revista Caatinga*, v.19, n .4, p. 415 – 425, 2006.

BASTOS, A.L.; COSTA, J.P.V.; SILVA, I.F.; RAPOSO, R.W.C.; OLIVEIRA, F.A.; ALBUQUERQUE, A.W. Resposta do milho a doses de fósforo. *Rev. bras. Eng. Agríc. Ambient.* vol.14 n.5, 2010.

BATISTA, I. Relação entre macrofauna, agregação e atributos edáficos em sequência de culturas sob Plantio Direto. 110 p. Tese-Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu. 2015.

BATISTA, I.; CORREIA, M. H. F.; PEREIRA, M. G.; BIELUCZYK, W.; SCHIAVO, J. A.; MELLO, N. A. Caracterização dos agregados em solos sob cultivo no Cerrado, MS. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 34, n. 4, p. 1535-1548, jul/ago, 2013.

BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. The thermal regime of soils. *SoilPhysics*, New York, v.4, p.253-283, 1972.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T.J.C.; MARTIN NETO, L.; FERNANDES, S.V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. *Soil & Tillage Research*, v.54, n.1, p.101-109, 2000.

BAYER, C. Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos. 1996. 240 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

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. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L.S. da; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A. de O. (Ed.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole, p.7-18, 2008.

BAYER, B.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L.; ERNANI, P.R. Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected by no-tillage on a subtropical soil. *Plant and Soil*, v.238, p.133–140, 2002.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). Matéria orgânica do solo: fundamentos e caracterização. Porto Alegre: Gênese. p.9-26, 1999.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas e de cultura. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.21, p. 105-112, 1997.

BELL, L. W.; MOORE, A. D. Integrated crop-livestock systems in Australian agriculture: trends, drivers and implications. Agricultural Systems, Amsterdam, v. 111, n. 7, p. 1-12, 2012.

BENITES, V. M.; MADARI, B. & MACHADO, P. L. O. A. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 7p. (Embrapa solos. Comunicado Técnico, 16), 2003.

BENITES, V.M; MENDONÇA, E.S.; SCHAEFER, C.E.R.; MARTIN NETO, L. Caracterização dos ácidos húmicos extraídos de um Latossolo Vermelho-Amarelo e de um Podzol por análise termodiferencial e pela espectroscopia de absorção no infravermelho. Revista Brasileira de Ciência Solo, v.23, p. 543-551, 1999.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 155-165, 2004.

BERTOL, I.; ZOLDAN JUNIOR, W.A.; FABIAN, E.L.; ZAVASCHI, E.; PEGORARO, R.; PAZ GONZÁLEZ, A. Efeito de uma escarificação e da erosividade de chuvas sobre algumas variáveis de valores de erosão hídrica em sistemas de manejo de um Nitossolo Háptico. Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol.32, p.747-757, 2008.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; CENTURION, M.A.P.C.; LEONEL, C.L.; JOÃO, A.C.G.S. & FREDDI, O.S. Intervalo hídrico ótimo no monitoramento da compactação e da qualidade física de um Latossolo Vermelho cultivado com soja. R. Bras. Ci. Solo, 31:1223-1232, 2007.

BLOUIN, M.; BAROT, S. & LAVELLE, P. Earthworms (*Millsonia anomala*, Megascolecidae) do not increase rice growth through enhanced nitrogen mineralization. Soil Biol. Biochem., 38:2063-2068, 2006.

BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; CONCEICÃO, P. C.; ZANATTA, J. A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; DIECKOW, J.; SANTOS, H. P.; DENARDIN, J. E.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA S. Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero-till subtropical agriculture. Global Change Biology, Illinois, v. 16, n. 2, p. 784-795, 2010.

BORGES, J.R.; PAULETTO, E.A.; SOUSA, R.O.; GOMES, A.S.; SILVA, J.B. LEITZKE, V.W. Agregação de um Gleissolo submetido a sistemas de cultivo e culturas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, n. 29, p. 21-31, 2003.

BOSSUYT, H.; SIX, JOHAN. & HENDRIX, P. F. Protection of soil carbon by microaggregates within earthworm casts. Soil Biology & Biochemistry, Oxford, v. 37, p. 251-258, 2005.

BRADY, N. C.; BUCKMAN, H. O. Natureza e propriedades dos solos. 6. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1983. 647 p.

BROWN, G.G.; PASSINI, A.; BENITO, N.P.; AQUINO, A.M.; CORREIA, M.E.F. 2002. Diversity and functional role of soil macrofauna communities in Brazilian no-tillage

agroecosystems: a preliminary analysis. In: Proceedings of the International Symposium on Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems. UNU/CBD, Montreal, Canadá, CD-Room, 20 p.

BROWN, G.G.; BAROIS, I. & LAVELLE, P. Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edaphic functional domains. *Eur. J. Soil Biol.*, 36:177-198, 2000.

BRUYN, L.A.L. de. Ants as bioindicators of soil function in rural environments. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.74, n. 1-3, p.425-441, jun. 1999.

BUCKMAN, H.O. & BRADY, N.C. *Natureza e propriedade dos solos*. 7.ed. Tradução de A. B. de Figueiredo Filho. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1989. 594p.

BULLOCK, P., FEDEROFF, N., JONGERIUS, A., STOOPS, G., TURSINA, T. *Handbook for soil thin section description*. Albrighton, England: Waine Research Publications, p.152. 1985.

BURGER, J. Bioindicators: a review of their use in the environmental literature 1970–2005. *Environmental Bioindicators* 1, 136–144. 2006.

CALVI, G.P.; PEREIRA, M.G.; ESPINDULA JUNIOR, A.; MACHADO, D.L. Composição da fauna edáfica em duas áreas de floresta em Santa Maria de Jetibá, ES, Brasil. *Acta Agronômica*, 59:37-45. 2010.

CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; CASSOL, L.C. Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de inverno para cobertura do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, p.383-391, 1999.

CAMPOS, B.C., REINERT, D.J., NICOLODI, R., RUEDELL, J., PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 19, p. 121-126, 1995.

CAMARGO, F.A.O.; SANTOS, G. A.; GUERRA, J.G.M; Macromoléculas e substâncias húmicas. In: SANTOS, G.A & CAMARGO, F.A.O. (Eds). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre, Genesis, p. 27 – 39, 1999.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 56, n. 3, p. 777-783, 1992.

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOTT, E.T. Methods for physical separation and characterization of soil organic matter fractions. *Geoderma*, v. 56, p. 449-457, 1993.

CANELLAS, L.P.; BERNER, P.G.; SILVA, S.G. da; SILVA, M.B.; SANTOS, G.A. Frações da matéria orgânica em seis solos de uma topossequencia no Estado do Rio de Janeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35:133-143, 2000.

CANELLAS, L.P.; SANTOS, G.A.; RUMJANEK, A.A.M.; GURIDI, F. Distribuição da matéria orgânica e características de ácidos húmicos em solos com adição de resíduos de origem urbana. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 36 p.1529-1538, 2001.

CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M.; REZENDE, C.E.; SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação de palhico e adição de vinhaça por longo tempo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p. 935-944, 2003.

- CARMO, F.F.; FIGUEIREDO, C.C.; RAMOS, M.L.G.; VIVALDI, L.J.; ARAÚJO, L. G. Frações granulométricas da matéria orgânica em Latossolo sob plantio direto com gramíneas. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 28, n. 3, p. 420-431, 2012.
- CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.14, n.1, p. 99-105, 1990.
- CARNEIRO, C.E.A.; MELÉM JÚNIOR, N.J.; AZEVEDO, M.C.B.; ANDRADE, E.A.; KOGUSHI, M.S.; VAZ, R.H.M.; STELMACHUK, T.L.L.; GUIMARÃES, M.F., RALISCH, R. Efeitos dos sistemas de manejo sobre o carbono orgânico total e carbono residual de um latossolo vermelho eutroférico. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 30, n. 1, p. 5-10, 2009.
- CARTER, M.R. Organic matter and sustainability. In: REES, R.M.; BALL, B.C.; CAMPBELL, C.D.; WATSON, C.A. (Ed.). *Sustainable management of soil organic matter*. New York: CABI Publishing, p. 9-22, 2001.
- CARVALHO, A.M.; BUSTAMANTE, M.M.C.; ALCÂNTARA, F.A.; RESCK, I.S.; LEMOS, S.S. Characterization by solid-state CP/MAS ¹³C NMR spectroscopy of decomposing plant residues in conventional and no-tillage systems in Central Brazil. *Soil Tillage Res.*, 102:144-150, 2009.
- CARVALHO, J.L.N.; CERRI, C.E.P, PICOLLO, M.C.; GODINHO, V.P.; CERRI, C.C. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. *Soil, Tillage Resherch*, v.103, p.342-349, 2009.
- CARVALHO, J.L.N.; AVANZI, J.C.; SILVA, M.L. N.; MELLO, C.R.; CERRI, C.E.P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 277-289, 2010.
- CASALINHO, H.D. Qualidade do solo como indicador de sustentabilidade em agroecossistemas. 2003. 187f. Tese (Doutorado em Agronomia). Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2003.
- CASALINHO, H.D. Monitoramento da qualidade do solo em agroecossistemas de base ecológica: a percepção do agricultor. 47 p. Ed. e Gráfica Universitária/UFPEL, Pelotas 2004.
- CASALINHO, H.D.; MARTINS, S.R.; SILVA, J.B.; LOPES, A.S. Qualidade do solo como indicador de sustentabilidade de agroecossistemas. *Revista Brasileira Agrociência*. Pelotas, v.13, n.2, p.195-203, 2007.
- CASTOLDI, G; FREIBERGER, M. B; CASTOLDI, G; COSTA, C.H.M. Manejo da adubação em sistema plantio direto. *Revista Trópica*, v. 6, n.1, p. 62-74, 2012.
- CASTRO FILHO, C.; MUZZILLI, O.; PODANOSCHI, 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*, 22: 527-538, 1998.
- CAVENAGE, A.; MORES, K.L.T.; ALVES, M.C.; CARVALHO, M.A.C; FREITAS, M.L.M; BUZZETTI, S. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Distrófico típico sob diferentes culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.23, p.997-1003, 1999.
- CELIK, I., BARUT, Z.B., ORTAS, I., GOK, M., DEMIRBAS, A., TULUN, Y., AKPINAR, C. Impacts of different tillage practices on some soil microbiological properties and crop yield under semi-arid Mediterranean conditions. *International Journal of Plant Production* 5 (3), 237–254, 2011.

- CHAER, G.M. Modelo para determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos. 2001. 90 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) - Curso de Pós-Graduação em Microbiologia Agrícola, Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.
- CHAMEN, T.; ALAKUKKU, L.; PIRES, S.; SOMMERD, C.; SPOOR, G.; TIJINK, F. & WEISSKOPF, P. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: A review. Part 2. Equipment and field practices. *Soil Till. Res.*, 73:161-174, 2003.
- CHEN, H.M.; ZHENG, C.R.; TU, C.; ZHU, Y. Heavy metal pollution in soils in China: Status and Countermeasures. v.28, p.130-134. *Ambio* 1999.
- CHENG, S.P. Heavy metal pollution in China: origin, pattern and control. *Environ Sci Pollut* v.10, n.3, p.192-198, 2003.
- CHENU, C. Clay or sand-polysaccharide associations as models for interface between microorganisms and soil: water related properties and microstructure. *Geoderma* 56, 143-156, 1993.
- CHRISTENSEN, B.T. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. *European Journal of Soil Science*, v. 52, p. 345-353, 2001.
- CHRISTENSEN, B.T. Organic matter in soil: structure, function and turnover. DIAS Report. n. 30, Plant Production, Tjele. 95 p, 2000.
- CHRISTENSEN, B.T. Carbon in primary and secondary organomineral complexes. In: CARTER, M.R.; STEWART, B. A. (Eds). *Structure and organic matter storage in agricultural soils*. CRC Press: Boca Raton, p. 97-165, 1996.
- CHRISTENSEN, B.T. Physical fractionation of soil organic matter in primary particle size and density separates. *Advances in Soil Science*, v. 20, p. 1-90, 1992.
- COLLARES, G.L.; REINERT, J.D.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, n.11, p. 1663-1674, 2006.
- COLLINS, H.P.; PAUL, E.A.; PAUSTIAN, K. & ELLIOTT, E.T. Characterization of soil organic carbon relative to its stability and turnover. In: PAUL, E. A.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E. T.; COLE, C. V. (Ed). *Soil organic matter in temperate agroecosystems: long-term experiments in North America*. Boca Raton, CRC Press, p.51- 72, 1997.
- CONCEIÇÃO, P.C.; BOENI, M.; DIECKOW, J. BAYER, C.; MARTIN NETO, L.; MIELNICZUK, J. Eficiência do Politungstato de Sódio no fracionamento densimétrico da matéria orgânica do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, p. 1301-1310, 2007.
- CONCEIÇÃO, P.C. Agregação e proteção física da matéria orgânica em dois solos do sul do Brasil. 113f. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2006.
- CONCEIÇÃO, P.C.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29, p. 777-788, 2005.
- CONTE, O.; FLORES, J.P.C.; CASSOL, L.C.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.F.; LEVIEN, R.; LIMA, C. Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.46, n.10, p. 1301-1309, 2011.

- CORRÊA, J.C. Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo em Querência, MT. Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v. 37, n. 2, p. 203-209, 2002.
- CORREIA, M.E.F. Potencial de utilização dos atributos das comunidades de fauna do solo e de grupos chave de invertebrados como bioindicadores de manejo de ecossistemas. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 23 p. (Embrapa Agrobiologia, Documentos 157). 2002.
- CORREIA, M.E.F.; OLIVEIRA, L.C.M.de. Fauna de solo: Aspectos gerais e metodológicos. Embrapa-Cnpab. Série documentos 112. 2000.
- CORREIA, M.E.F.; ANDRADE, A.G. Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A., CAMARGO, F.A.O., (eds.) Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Genesis. p. 197-225, 1999.
- 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.
- CORSINI, P.C.; FERRAUDO, A.S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.34, p.289-298, 1999.
- COSTA, C.; VANIN, S.A.; CASARI-CHEN, S.A. Larvas de coleoptera do Brasil. São Paulo: Museu de Zoologia, Universidade de São Paulo: FAPESP, 1988, p.282.
- COSTA, F.S.; BAYER, C.; ZANATTA, A.J.; MIELNICKZUK, J. Estoque de carbono orgânico 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.
- CRUZ, A.C.R.; PAULETO, E.A.; FLORES, C.A.; SILVA, J.B. Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.27, p.1105- 1112, 2003.
- CSIRO. The insects of Australia: a textbook for students and research workers. v.2, 2 ed. Cornell University Press, New York, 1991, 1136p.
- CUNHA, T.J.F.; MACEDO, J.R.; RIBEIRO, L.P.; PALMIERI, F.; FREITAS, P.L.; AGUIAR, A.C. Impacto do manejo convencional sobre propriedades físicas e substâncias húmicas de solos sob cerrado. Ciência Rural, v.1, p. 27-36, 2001.
- CUNHA, T.J.F.; MENEGUELLI, N.A.; CONCEIÇÃO, M.; MACHADO, P.L.O.A.; FREIXO, A.A. Avaliação de extratores de substâncias húmicas de um Latossolo Vermelho Distroférico Rio de Janeiro. Embrapa Solos, 15p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa, n.7). 2000.
- DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico sob sistema plantio direto. Revista Ciência Agronômica, Fortaleza, v. 43, n. 3, p. 453-461, 2012.
- DAY, P.R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C.A. (Ed.). Methods of soil analysis. Madison: American Society of Agronomy, v.1, p.545- 556, 1965.
- DE DEYN, G.B.; RAAIJMAKERS, C.E.; VAN RUIJVEN, J.; BERENDSE, F.; VAN DER PUTTEN, W.H. Plant species identity and diversity effects on different trophic levels of nematodes in the soil food web. Oikos, Hoboken, v. 106, p. 576-586, 2004.

- DE GROOT, R. S.; WILSON, M. A.; BOUMANS, R. M. J. A typology for the classification, description and evaluation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, v. 41, p. 393–408, 2002.
- DERPSCH, R., FRIEDRICH, T., KASSAM, K., HONGWEN, L., Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 3 (1), 1–25. 2010.
- DICK, D.P.; GOMES, J.; BAYER, C.; BODMANN, B. Adsorção de ácidos húmicos em Latossolo Roxo natural e tratado com oxalato de amônio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 24, p. 285-294, 2000.
- DICK, D.P.; MARTINAZZO, R. Matéria orgânica em ambientes terrestres e aquáticos: composição, reações e técnicas de caracterização. In: POLETO, C.; MERTEN, G. (Org.). *Qualidade de Sedimentos*. Porto Alegre, v.1, p.65-80, 2006.
- DICK, D.P.; MARTINAZZO, R.; DALMOLIN, R.S.D.; JACQUES, A.V.A.; MIELNICZUK, J.; ROSA, A.S. Impacto da queima nos atributos químicos do solo, na composição da matéria orgânica e na vegetação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43: 633-640, 2008.
- DICK, D.P.; NOVOTNY, E.H.; DIECKOW, J.; BAYER, C. Química da matéria orgânica do solo. In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. (Eds.). *Química e mineralogia do solo*. 1. ed. Viçosa: SBCS, p. 1-67, 2009.
- DICK, W. Organic carbon, nitrogen, and phosphorus concentrations and pH in soil profiles as affected by tillage intensity. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.47, n.1, p.102-107, 1983.
- DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D.P.; KÖGEL-KNABNER, I. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilisation in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. *Soil & Tillage Research*. v. 81, p. 87-95. 2005.
- DIEKOW, J. Estoque e qualidade da matéria orgânica do solo em função de sistemas de cultura e adubação nitrogenada no sistema plantio direto. 154p. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2003.
- DIMASSI, B.; COHANB, J. P.; LABREUCHE, J.; MARY, B. Changes in soil carbon and nitrogen following tillage conversion in a long-term experiment in Northern France. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Amsterdam, v. 169, n. 1, p. 12-20, 2013.
- DINDAL, D. *Soil biology guide*. Ed. John Wiley and Sons. New York, 1990, 1348p.
- DING, X., ZHANG, B., ZHANG, X., YANG, X., ZHANG, X. Effects of tillage and crop rotation on soil microbial residues in a rainfed agroecosystem of northeast China. *Soil and Tillage Research* 114, 43–49, 2011.
- DORAN, J. W. & ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, 15:3-11, 2000.
- DORAN, J.W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M.A. Soil health and sustainability. *Advances in Agronomy*, San Diego, v. 56, n.1 ,p. 2-54, 1996.
- DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; CELEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. *Defining soil quality for sustainable environment*. Madison, Soil Science Society of America, p.3-21, 1994.
- DORAN, J.W. Soil quality and sustainability. In: *Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, Rio de Janeiro. Palestras... Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 26. 1997.

- DORAN, J.W.; ZEISS, M.R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, Amsterdam, v.15, n. 1, p.3-11, 2000.
- 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*, Viçosa, v. 28, n.3, p. 505- 517, 2004.
- DUXBURY, J.M.; SMITH, M.S.; DORAN, J.W. Soil organic matter as a source and sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. (Ed.). *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*. Honolulu: University of Hawaii Press, p. 33-69, 1989.
- EMBRAPA. Manual de métodos de análises de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212 p.
- FAGERIA, N.K. Role of soil organic matter in maintaining sustainability of cropping systems. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, Philadelphia, v. 43, n. 16, p. 2063-2113. 2012.
- FALLEIRO, R. M.; SOUZA, C.M.; SILVA, C.S.W.; SEDIYAMA, C.S.; SILVA, A. A.; FAGUNDES, J.L. Influencia dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, n. 6, p. 1097-1104, 2003.
- FASSBENDER, H.W.; BORNEMISZA, E. Química del suelos con enfase en suelos de América Latina. San José, IICA, 420 p. 1994.
- FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA (FEBRAPDP). Evolução da área cultivada no sistema de plantio direto na palha - Brasil, 2012. Disponível em: http://febrapdp.org.br/download/PD_Brasil_2013.I.pdf. Acesso em 01/09/2015.
- FEIGL, B.J.; SPARLING, G.P.; ROSS, D.J.; CERRI, C.C. Soil microbial biomass in Amazonian soils: evaluation of methods and estimates of pool sizes. *Soil Biology and Biochemistry*, v.27, 1467- 1472, 1995.
- FELLER, C.; BALESSENT, J.; NICOLARDOT, B.; CERRI, C. Approaching "functional"soil organic matter pools through particle-size fractionation. Examples for tropical soils. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.; FOLLETR, R.F.; STEWART, B. (Ed.). *Assessment methods for soil carbon pools*. Boca Raton: CRC Press, p. 102-132. (Advances in Soil Science), 2000.
- FELLER, C.; ALBRECHT, A.; TESSIER, D. Aggregation and organic matter storage in kaolinitic and smectitic tropical soils. In: CARTER, M.R.; STEWART, B.A. (Ed). *Structure and organic matter storage in agricultural soils*. Boca Raton: Lewis, p.309-359, 1996.
- FERNANDES, F.C.S.; ALVES, M.C.; SILVA, M.M. Produtividade de culturas e atributos físicos de um Latossolo afetados pelo sistema de manejo. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.6, n.3, p. 297-308. 2007.
- FERREIRA, D. F. SISVAR 4.6. Sistema de análises estatísticas. Lavras: UFLA, 2003.
- FIDELIS, R.R.; ROCHA, R.N.C.; LEITE, U.T.; TANCREDI, F.D. Alguns aspectos do plantio direto para a cultura da soja. *Bioscience Journal*. Uberlândia, v.19, n.1, p 23-31. 2003.
- FIGUEIREDO, C.C.; RESCK, D.V.S.; CARNEIRO, M.A.C. Labile and stable fractions of soil organic matter under management systems and native cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p. 907-916, 2010.
- FILIZOLA, H. F.; SOUZA, M. D. de; GOMES, M. A. F.; BOEIRA, R. C. Aspectos físicos de um solo tratado com lodo de esgoto: Estabilidade de agregados e argila dispersa em água. In:

- BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. de. (Ed.). Lodo de esgoto: Impactos ambientais na agricultura. 1a ed. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006, p. 137-148.
- FONTES, M.R.; WEED, S.B.; BOWEN, L.H. Association of microcrystalline goethite and humic acid in some Oxisols from Brazil. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 56, p. 982-990, 1992.
- FRANCHINI, J.C.; DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A.A.B.; TONON, B.C.; FARIAS, J. R.B.; DE OLIVEIRA, M.C.N.; TORRES, E. Evolution of crop yields in different tillage and cropping systems over two decades in southern Brazil. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 137, n. 20, p. 178-185, 2012.
- FRAZÃO, L.A.; SANTANA, I.K.S.; CAMPOS, D.V.B.; FEIGL, B.J. Estoques de carbono e nitrogênio e fração leve da matéria orgânica em Neossolo Quartzarênico sob uso agrícola. *Psquisa Agropecuária Brasileira*, v. 45, p. 1198-1204, 2010.
- FREITAS, D. A. F.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. V.; CURI, N. Índices de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo florestal e cerrado nativo adjacente. *Revista Ciência Agronômica*, 43: 417-428. 2012.
- FREIRE, L.R.; CAMPOS, D. V.B.; ANJOS, L.H.C.; ZONTA, E.; PEREIRA, M.G.; BLOISE, R.M.; MOREIRA, G.N.C.; EIRA, P.A. Análise química de amostras de terra. In: Editores FREIRE, L.R.; BALIEIRO, F.C.; ZONTA, E.; ANJOS, L.H.C.; PEREIRA, M G.; LIMA, E.; GUERRA, J.G.M.; FERREIRA, M.B.C.; LEAL, M.A.A.; CAMPOS, D.V.B.; POLIDORO, J.C. Manual de Calagem e Adubação do Estado do Rio de Janeiro. Brasília, DF, Embrapa, 430p. 2013.
- FONTANA, A.; SILVA, C.F.S.; PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; BRITO, J.R.; BENITES, V.M. Avaliação dos compartimentos da matéria orgânica em área da mata atlântica. *Acta Scientiarum Agronomy*, 33:545-550, 2011a.
- FONTANA. A.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; BENITES, V.M. Classificação de horizontes diagnósticos em níveis inferiores com base nas frações húmicas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, p. 313-324, 2011b.
- FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; BRITO, R.J.; LOSS, A. Distribuição dos agregados e substâncias húmicas em solos de Tabuleiro sob diferentes coberturas vegetais. *Agrária*, v. 5, p. 291-297, 2010a.
- FONTANA, A.; BRITO, R.J.; PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; BENITES, V.M.; Caracterização de substâncias húmicas da camada superficial do solo sob diferentes coberturas vegetais. *Magistra*, v. 22, p. 49-56, 2010b.
- FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; BENITES, V.M. Distribution of organic carbon in the humic fractions of diagnostic horizons from Brazilian soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.39, p. 951-971, 2008a.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). Aquastat. 2015. Disponível em: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/results.html>. Acesso em: 20/10/2015.
- GENRO JUNIOR, S.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; ALBUQUERQUE, J.A. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho e produtividade de culturas cultivadas em sucessão e rotação. *Cienc. Rural*, v. 39, n. 1, p.65-73, fev. 2009.
- GLIESSMAN, S.R. Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 653 p. 2000.

- GOEDERT, W.J.; OLIVEIRA, S.A. de. Fertilidade do solo e sustentabilidade da atividade agrícola. Coord. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F. de.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. Editores. Fertilidade do Solo - Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa- MG, 1017p. 2007.
- GOLCHIN, A.; OADES, J.M.; SKJEMSTAD, J.O.; CLARKE, P. Soil-structure and carbon cycling. *Australian Journal Soil Research*, 32:1043-1068, 1994.
- GOMES, A.S.; SILVA, C.A. S.; PARFITT, J.M.B.; PAULETTO, E.A.; PINTO, L.F.S. Caracterização de indicadores da qualidade do solo, com ênfase às áreas de várzea do Rio Grande do Sul. Embrapa Clima Temperado, Pelotas. Documentos, 169, 40 p. 2006.
- GOMES, A.A.; MUSSURY, R.M.; SCALON, S.P.Q.; WATTHIER, F.; CUNHA, K.A.A.; SCALON FILHO, H. Avaliação do impacto da fragmentação de florestas nativas sobre a mesofauna edáfica na região de Dourados, MS. *Revista Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.31, n.3, p. 612-618, 2007.
- GREGORICH, E.G.; BEARE, M.H.; MCKIM, U.F.; SKJEMSTAD, J.O. Chemical and biological characteristics of physically uncomplexed organic matter. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 70, n. 3, p. 975-985, 2006.
- GREGORICH, G.; CARTER, M.R.; ANGERS, D. A.; MONREAL, C.M.; ELLERT, B.H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 1994.
- GUARESCHI, R.F.; PEREIRA, M.G.; PERIN, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no cerrado goiano. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 36, n. 3, p. 909-920, 2012.
- GUARESCHI, R.F. Matéria orgânica e atributos químicos e físicos do solo em uma cronossequência de agricultura sob plantio direto no cerrado goiano. 107 p. Tese. (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica-RJ. 2013.
- GUEDES FILHO, O.; SILVA A.P.; GIAROLA N.F.B.; TORMENA, C.A. Structural properties of the soil seedbed submitted to mechanical and biological chiseling under no-tillage. *Geoderma*. 204/205:94-101. 2013.
- HABERERN, J. Coming full circle – the new emphasis on soil quality. *American Journal of Alternative Agriculture*, v.7, n.1, p.3 – 4, 1992.
- HARRIS, R.F.; KARLEN, D.L.; MULLA, D.J.A. A conceptual framework for assessment and management of soil quality and health. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Eds.). *Methods for assessing soil quality*. Madison: Soil Science Society of America, p. 61-82. (SSSA, Special Publication, 49), 1996.
- HAYNES, R.J.; FRASER, P.M. A comparison of aggregate stability and biological activity in earthworm casts and uningested soil as affected by amendment with wheat or lucerne straw. *European Journal of Soil Science*, Malden, v. 49, p. 629–636, 1998.
- HECKLER, J.C.; SALTON, J.C. Palha: Fundamento do sistema de plantio direto. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2002. V.7, 26 p. (Coleção Sistema de Plantio Direto). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/38756/1/COL20027.pdf>. Acesso em: 25/09/2015.
- HENDRIX, P.F. Earthworms in agroecosystems in North America. Boca Raton, Lewis Publishers, 1995.

- HERNANI, L.C. & GUIMARÃES, J.B.R. Efeitos de sistemas de preparo do solo e rotação de culturas em atributos físicos de um Latossolo Roxo. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 14., Temuco, 1999. Resúmen. Temuco, Un. de La Frontera, 1999. CD-ROM.
- HERRICK, J.E. Soil quality: an indicator of sustainable land management? *Applied Soil Ecology*, Amsterdam, v.15, n.1, p.75-83, 2000.
- HOOPER, D.U.; BIGNELL, D.E.; BROWN, V.K.; BRUSSAARD, L.; DANGERFIELD, J.M.; WALL, D.H.; WARDLE, D.A.; COLEMAN, D.C.; GILLER, K.E.; LAVELLE, P.; VAN DER PUTTEN, W.H.; DE RUITER, P.C.; RUSEK, J.; SILVER, W.L.; TIEDJE, J.M.; WOLTERS, V. Interactions between aboveground and belowground biodiversity in terrestrial ecosystems: patterns, mechanisms, and feedbacks. *Bioscience*, Oxford, v. 50, p. 1049–1061, 2000.
- HOORMAN, J.J. Using cover crops to improve soil and water quality. Lima, Ohio: Agriculture and Natural Resources, The Ohio State University Extension; 2009.
- HUERTA, E.; FRAGOSO, C.; BAROIS, I.; LAVELLE, P. Enhancement of growth and reproduction of the tropical earthworm *Polypheretima elongata* (Megascolecidae) by addition of *Zea mays* and *Mucuna pruriens* var. *utilis* litter to the soil. *European Journal of Soil Biology*, Paris, v. 41, p. 45-53, 2005.
- INGARAMO, O.E. Indicadores físicos de la degradación del suelo. 298 p. Tese (Doutorado em Edafologia) - Universidade da Coruña, La Coruña, 2003.
- ISLAN, K.R.; WEILL, R.R. Soil quality indicator properties in Mid-Atlantic soil as influenced by conservation management, *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 55, p. 69-78, 2000.
- JOHNSTON, A.E.; POULTON, P.R.; COLEMAN, K. Soil organic matter: its importance in sustainable agriculture and carbon dioxide fluxes. *Advances in Agronomy*, Amsterdam, v. 101, n. 1, p.1-57, 2009.
- JONES, C.G.; LAWTON, J.H. & SHACHAK, M. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*, 69:373-386, 1994.
- JONES, C.A. Effect of soil texture on critical bulk densities for root growth. *Soil Science Society of America Journal*, v.47, n.6, p.1208-1211, 1983.
- JOUQUET, P.; DAUBER, J.; LAGERLOF, J.; LAVELLE, P.; LEPAGE, M. Soil invertebrates as ecosystem engineers: Intended and accidental effects on soil and feedback loops. *Appl. Soil Ecol.*, 32:153-164, 2006.
- KARLEN, D.L.; DITZLER, C.A.; ANDREWS, S.S. Soil quality: why and how? *Geoderma*, Amsterdam, v. 114, n. 3/4, p. 145-156, 2003.
- KARLEN, D.L.; MAUSBACH, M.J.; DORAN, J.W.; CLINE, R.G.; HARRIS, R.F.; SCHUMAN, G.E. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.61, n.1, p.4-10, 1997.
- KARLEN, D. L.; STOTT, D. E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (Ed.) *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, WI, Soil Science Society of America, 1994, p. 53 – 72, (Special Publication, 35).
- KEMPER, W.D. & W.S. CHEPIL. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A., ed. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy, p.499 – 510, 1965.

- KEMPER, W.D. Aggregate stability. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, p.511-519. 1965.
- KIEHL, E.J. Manual de edafologia: Relações solo-planta. São Paulo: Ceres, 262p. 1979.
- KONONOVA, M.M. Current problems in the study of organic matter accumulation in soils under anaerobiosis. Soil Science. Baltimore, v. 137, p. 419 – 427, 1984.
- KONONOVA, M.M. Matéria orgânica del suelo: su naturaleza, propiedades y métodos de investigacion. Barcelona. Oikos –Tau, 365p., 1982.
- KLENK, L.A. Macrofauna invertebrada edáfica em pastagem com pastoreio rotativo sob diferentes preparos orgânicos em condições subtropicais no sul do Brasil, 54 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2010.
- LAL, R. Soil quality and food security: the global perspective. In: LAL, R. (Ed.), Soil Quality and Soil Erosion. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 3–16. 1999.
- LAL, R.; PIERCE, F.J. The vanishing resource. In: LAL, R.; PIERCE, F.J. (Eds.) Soil management for sustainability. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, p.1-5, 1991.
- LAFONT, A. Effects of the earthworm *Pontoscolex corethrurus* on banana plants infected or not with the plant-parasitic nematode *Radopholus similis*. Pedobiologia, 51:311-318, 2007.
- LARSON, W.E. & PIERCE, F.J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, SSSA, p.37-51. (Special, 35), 1994.
- LAURINDO, M.C.O.; NÓBREGA, L.H.P.; PEREIRA, J.O.; MELO, D.; LAURINDO, E.L. Atributos físicos do solo e teor de carbono orgânico em sistemas de plantio direto e cultivo mínimo. Engenharia na Agricultura, Viçosa, v.17 n.5, p. 367-374, 2009.
- LAVELLE, P.; DECAËNS, T.; AUBERT, M.; BAROT, S.; BLOUIN, M.; BUREAU, F.; MARGERIE, P.; MORA, P. & ROSSI, J.P. Soil invertebrates and ecosystem services. Soil Biol., 42:3-15, 2006.
- LAVELLE, P.; PASHANASI, B.; CHARPENTIER, F.; GILOT, C.; ROSSI, J.P.; DEROUARD, L.; ANDRE, J.; PONGE, J.F.; BERNIER, N. Effects of earthworms on soil organic matter and nutrient dynamics at a landscape scale over decades. In: EDWARDS, C.A., ed. Earthworm ecology. 2.ed. Boca Raton, CRC Press, p.145-160., 2004.
- LAVELLE, P.; SPAIN, A.V. Soil ecology. Dordrecht: Kluwer Academic, p.654, 2001.
- LAVELLE, P. Faunal activities and soil processes: adaptative strategies that determine ecosystem function. Advances in Ecological Research, New York, v. 27, p. 93-132, 1997.
- LAVELLE, P. Diversity of soil fauna and ecosystem function. Biol. Intern., 33:3-16, 1996.
- LAVELLE, P.; DANGERFIELD, M.; FRAGOSO, C.; ESCHENBRENNER, V.; LOPEZ-HERNANDEZ, D.; PASHANASI, B.; BRUSAARD, L. The relationship of between soil macrofauna and tropical soil fertility. In: WOOMER, P.L.; SWIFT, M.J. The biological management of tropical soil fertility. New York: J. Wiley & Sons, p. 137-169, 1994.
- LAVELLE, P.; BLANCHART, E.; MARTIN, A.; SPAIN, A.V. & MARTIN, S. Impact of soil fauna on the properties of soils in the humid tropics. Madison, SSSA, (Special Publication, 29), 1992.

- LAVELLE, P. Les Vers de Terre de la savane de Lamto (Côte d'Ivoire): peuplements, populations et fonctions dans l'écosystème. PhD Thesis, Université Paris VI, France. Publication du Laboratoire de Zoologie de l'ENS, p. 302. 1978.
- LIMA, A.M.N.; SILVA, I.R.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; MENDONÇA, E.S.; DEMOLINARI, M.S.M.; LEITE, F.P. Frações da matéria orgânica do solo após três décadas de cultivo de eucalipto no Vale do Rio Doce, MGS. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:1053-1063, 2008.
- LIMA, C.L. R.; PILLON, C.N.; LIMA, A.C.R. Qualidade física do solo: Indicadores quantitativos. Embrapa Clima Temperado, Pelotas. Documentos, 196. 25 p. 2007.
- LIU, Y.L.; WEN, C.; LIU, X.J. China's food security soiled by contamination. *Science* v. 339, p. 1382–1383, 2013.
- LONGINO, J.I.; CODDINGTON, J.A.; COLWELL, R.K. The Ant fauna of a tropical rainforest: estimating species richness three different ways. *Ecology*, v. 83, n. 3, p. 689-702, 2002.
- LOPES, A.S; WIETHÖLTER, S; GULHERME, L.R.G; SILVA, C.A. Sistema plantio direto: Bases para o manejo da fertilidade do solo. São Paulo: ANDA, 110 p. 2004.
- LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; COSTA, E.M.; BEUTLER, S.J. Frações granulométricas e oxidáveis de matéria orgânica sob diferentes sistemas de uso do solo, no Paraná, Brasil. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 30, n. 1, p. 43-54, 2014a.
- LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; COSTA, E.M.; BEUTLER, S.J.; Soil fertility, physical and chemical organic matter fractions, natural ¹³C and ¹⁵N abundance in biogenic and physicogenic aggregates in areas under different land use systems. *Soil Research*, Melbourne, v. 52, p. 685-697, 2014b.
- LOSS, A.; MORAES, A.G.L.; PEREIRA, M.G.; SILVA, E.M.R.; ANJOS, L.H.C. Carbono, matéria orgânica leve e frações oxidáveis do carbono orgânico sob diferentes sistemas de produção orgânica. *Comunicata Scientiae*, v. 1, p. 57-64, 2010a.
- LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L.H.C.; SILVA, E.M.R. Quantificação do carbono das substâncias húmicas em diferentes sistemas de uso do solo e épocas de avaliação. *Bragantia*, v. 69, p.913-922, 2010b.
- LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; BEUTLER, S.J.; FERREIRA, E.P.; SILVA, E.M.R. Oxidizable organic carbon fractions and soil aggregation in areas under different organic production systems in Rio de Janeiro, Brazil. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, v. 14, p. 699-708, 2011.
- LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L.H.C.; SILVA, E.M.R. Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção orgânica. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 39, n. 4, p. 78-83, 2009a.
- LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; FERREIRA, E.P.; SANTOS, L.L.; BEUTLER, S.J.; FERRAZ-JUNIOR, A.S.L.; Frações oxidáveis do carbono orgânico do solo em sistema de aléias sob Argissolo Vermelho-Amarelo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 867-874, 2009b.
- LONGSDON, S.D. & LINDEN, D.R. Interactions of earthworms with soil physical conditions influencing plant growth. *Soil Sci.*, 154:330–337, 1992.

- LUIS, J.O Sistema de plantio direto no Brasil. 2013. Disponível em: <http://www.agrolink.com.br/colunistas/ColunaDetalhe.aspx?CodColuna=4857>. Acesso em 29/09/2015.
- MAESTRI, R.; LEITE, M.A.S.; SCHMITT, L.Z.; RESTELLO, R.M. Efeito da mata nativa e bosque de Eucalipto sobre a riqueza de artrópodos na serrapilheira. *Perspectiva*, v. 37, p. 31-40, 2013.
- MARASHI, A.R.A.; SCULLION, J. Earthworms casts form stable aggregates physically degraded soil. *Biology and Fertility of Soils*, v. 32, n. 2, p. 375-380, 2003.
- MARCELO, A.V.; CORÁ, J.E.; FERNANDES, C. Sequências de culturas em sistema de semeadura direta: II - decomposição e liberação de nutrientes na entressafra. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, v. 36, n. 5, p.1568-1582, nov. 2012.
- MARCOLAN, A.L. Atributos físicos e químicos de um Argissolo e rendimento de culturas em função do seu revolvimento na reaplicação de calcário no sistema de plantio direto. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS. 2002.
- MARINISSEN, J. C. Y.; WINDING, A.; HENDRIKSEN, N. B.; PULLEMAN, M. M. Organic matter dynamics are affected by microbial activity in biogenic aggregates. In: World Congress of Soil Science", 16th, 1998, Montpellier. Abstract books: symposium nº 9. CD-ROM.
- MARTINS, E.L.; CORINGA, J.E.S.; WEBER, O.L.S. Carbono orgânico das frações granulométricas e substâncias húmicas de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico- LVAd sob diferentes agrossistemas. *Acta Amazônica*, 39:656-660, 2009.
- MARTINS, E.M. Fauna do solo e fungos micorrízicos arbusculares em um corredor agroflorestal. 74 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia Ciência do Solo. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 2009.
- MARTINS, P.F.S.; CERRI, C.C.; VOLKOFF, B.; ANDREUX, F.; CHAUVEL, A. Consequences of clearing and tillage on the soil of a natural Amazonian ecosystem. *Forest Ecology and Management*, v. 38, p. 273-282, 1991.
- MATIAS, G.C.S. Eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados em solos com diferentes capacidades de adsorção de fósforo e teores de matéria orgânica. 174p. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2010.
- MATOS, E.S.; MENDONÇA, E.S.; CARDOSO, I.M.; LIMA, P.C. & FREESE, D. Decomposition and nutrient release of leguminous plants in coffee agroforestry systems. *R. Brasileira de Ciência do Solo*, 35:141-149, 2011.
- MELO, F.V.; BROWN, G.G.; CONSTANTINO, R.; LOUZADA, J.N.C.; LUIZÃO, F. J.; MORAIS, J. W; ZANETTI, R. Importância da meso e macrofauna do solo na fertilidade e como bioindicadores. *Boletim Informativo da SBCS*, p. 38-43, jan-abr., 2009.
- MENDONZA, H.N.S.; LIMA, E.; ANJOS, L.H.C.; SILVA, L.A.; ANTUNES, M.V.A.M. Propriedades químicas e biológicas de solos de Tabuleiro cultivado com cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 24, p. 201-207- 2000.
- MENEZES, C.E.G.; PEREIRA, M.G.; CORREIA, M.E.F.; ANJOS, L.H.C.; PAULA, R.R.; SOUZA, M.E. Aporte e decomposição da serrapilheira e produção de biomassa radicular em florestas com diferentes estágios sucessionais em Pinheiral, RJ. *Revista Ciência Florestal*, Santa Maria, v.20, n.3, p.439-452, 2010.

- MENEZES, C.E.G.; BROWN, G.G.; CONSTANTINO, R.; LOUZADA, J.N. C.; LUIZÃO, F.J.; MORAIS, J.W.De; ZANETTI, R. Macrofauna edáfica em estágios sucessionais de floresta estacional semidecidual e pastagem mista em Pinheiral (RJ), *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v. 33, p. 1647-1656, 2009.
- MENEZES, C.E.G. Integridade de paisagem, manejo e atributos do solo no Médio Vale do Paraíba do Sul, Pinheiral- RJ. 164f. (Tese de Doutorado) UFRRJ, Instituto de Agronomia, Seropédica, RJ. 2008.
- MITCHELL, G. Problems and fundamentals of sustainable development indicators. *Sustainable Development*, v. 4, n. 1, p.1 – 11, 1996.
- MOÇO, M.K.; GAMA-RODRIGUES, E.F. da; GAMA-RODRIGUES, A.C. da & CORREIA, M.E.F. caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região Norte Fluminense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.555-564, 2005.
- MOORE, D.P.; OVERSTREET, R.; JACOBSON, L. Uptake of magnesium and its interactions with calcium in excised barley roots. *Plant Physiology*, v.36, p.290-295, 1961.
- MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. 2.ed. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 729p. 2006.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2002. 625 p.
- MUMMEY, D.L.; RILLIG, M.C.; SIX, J. Endogeic earthworms differentially influence bacterial communities associated with different soil aggregate size fractions *Soil Biology & Biochemistry*, v. 38, p. 1608–1614, 2006.
- MUSSURY, R.M.; SCALON, S.P.Q.; GOMES, A.A.; BATISTA, M.R.; SCALON FILHO, H. Flutuação populacional da mesofauna em fragmentos de mata na região de Dourados, MS. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.32, n.2, p. 645-650, 2008.
- MUTEMA, M.; MAFONGOYA, P.L.; NYAGUMBO, I.; CHIKUKURA, L. Effects of crop residues and reduced tillage on macrofauna abundance. *Journal of Organic Systems*, Waitakere, v. 8, n. 1, p. 5-16, 2013.
- MUZZILLI, O. Manejo da matéria orgânica no sistema de plantio direto: A experiência no Estado do Paraná. Palestra apresentada no 3º Simpósio sobre Rotação soja/milho no plantio direto, Promovido pela POTAFOS, Piracicaba, julho/2002. *Informações Agronômicas*. n.100, 2002.
- NETO, O.C.P.; GUIMARÃES, M.D.F.; RALISCH, R.; FONSECA, I.C. Análise do tempo de consolidação do sistema de plantio direto. *R. Bras. Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 11, n. 5, p. 489-496, 2007.
- OADES, J.M.; WATERS, A.G. Aggregate hierarchy in soils. *Australian Journal of Soil Research*, Victoria, v. 29, p. 815-828, 1991.
- OADES, J.M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant and Soil*, Dordrecht, v.76, p. 319–337, 1984.
- OLIVEIRA JUNIOR, A.C.; SILVA, C.A.; CURI, N.; GUILHERME, L.R.G.; RANGEL, O.J.P. Indicadores químicos de qualidade da matéria orgânica de solo da sub-bacia do Rio das Mortes sob manejos diferenciais de cafeeiro. *Química Nova*, v. 31, p. 1733-1737, 2008.
- OLIVEIRA, L.J.; CAMPO, C.B.H.; BROWN, G.G. Manejo de pragas de solo em soja: Aspectos gerais e pressupostos importantes. In: *Anais e Atas da IX Reunião Sul-Brasileira sobre Pragas de Solo*. Epagri – Estação Experimental de Itajaí, SC. P. 85-90, 2005.

- ORLANDO FILHO, J.O.; BITTENCOURT, V.C.; CARMELLO, Q.A.C.; BEAUCLAIR, E.G.F. Relações K, Ca e Mg de solo areia quartzosa e produtividade da cana-de-açúcar. SATB: Açúcar, álcool e subprodutos, v.14, p.13-17, 1996.
- OUÉDRAOGO, E.; MANDO, A.; BRUSSAARD, L. Soil macrofaunal-mediated organic resource disappearance in semi-arid West Africa. *Applied Soil Ecology*, v.27, p. 259–267, 2004.
- PAOLETTI, M.G; SCHWEIGL, U & FAVRETTO, M.R. Soil macroinvertebrates, heavy metal and organochlorines in low and high input apple orchards and a coppiced woodland. *Pedobiologia*, 39:20-33,1995.
- PASCUAL, J.A; GARCIA, C; HERNANDEZ, T; MORENO, J.L; ROS, M. Soil microbial activity as a biomarker of degradation and remediation processes. *Soil Biology & Biochemistry*, v.32, p.1877-1883, 2000.
- PASSOS, R.R.; RUIZ, H.A.; MENDONÇA, E.S.; CANTARUTTI, R.B.; SOUZA, A.P. Substâncias húmicas, atividade microbiana e carbono lábil em agregados de um Latossolo Vermelho Distrófico sob duas coberturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31:1119-11129, 2007.
- PAUL, B.K.; VANLAUWE, B.; AYUKE, F.; GASSNER, A.; HOOGMOED, M.; HURISSO, T.T.; KOALA, S.; LELEI, D.; NDABAMENYE, T.; SIX, J.; PULLEMAN, M.M. Mediumterm impact of tillage and residue management on soil aggregate stability, soil carbon and crop productivity. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Amsterdam, v. 164, n. 1, p. 14-22, 2013.
- PEREIRA, M.F.S.; NOVO JUNIOR, J.; SÁ, J.R.; LINHARES, P.C.F.; BEZERRA NETO, F. PINTO, J.R.S. Ciclagem do carbono do solo nos sistemas de plantio direto e convencional. *Revista Agropecuária Científica no Semiárido*.v.9. n.2. p. 21-32. 2013.
- PEZARICO, C.R.; VITORINO, A.C.T.; MERCANTE, F.M.; DANIEL, O. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. *Rev. Ciências. Agrárias*, 56: 40-47. 2013.
- PILLON, C.N.; SANTOS, D. C.; LIMA, C.R.L.; ANTUNES, L.O. Carbono e nitrogênio de um Argissolo Vermelho sob floresta, pastagem e mata nativa. *Ciência Rural*, v. 41, p. 447-453, 2011.
- PILLON, C.N., MIELNICZUK, J.; LADISLAU, M.N. Métodos de fracionamento e caracterização da matéria orgânica do solo. Embrapa clima temperado. Documentos 106. 2002.
- PINHEIRO, E.F.M. Fracionamento físico e caracterização da matéria orgânica do solo sob diferentes coberturas vegetais. 98f. Tese (Doutorado em Agronomia-Ciência do Solo), Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 2007.
- PINHEIRO, E.F.M.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; MACHADO, P.L.O.A. Fracionamento densimétrico da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo e cobertura vegetal em Paty do Alferes (RJ). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, p. 731-737, 2004.
- PLANTE, A., MCGILL, W. Soil aggregate dynamics and the retention of organic matter in laboratory-incubated soil with differing simulated tillage frequencies. *Soil and Tillage Research* 66, 79–92. 2002
- PRIMAVESI, A. Manejo Ecológico do Solo. São Paulo: Nobel, Cap 5. p139 -163, 2002.

- PULLEMAN, M.M.; SIX, J.; UYL, A.; MARINISSEN, J.C.Y.; JONGMANS, A.G. Earthworms and Management affect organic matter incorporation and microaggregate formation in agricultural soils. *Applied Soil Ecology*, v.29, p. 1–15, 2005.
- PULLEMAN, M.M. & MARINISSEN, J.C.Y. Physical protection of mineralizable C in aggregates from longterm pasture and arable soil. *Geoderma*, 120:273-282, 2004.
- RAMOS, M.E., ROBLES, A.B., SANCHEZ-NAVARRO, A., GONZALEZ-REBOLLAR, J.L., Soil responses to different management practices in rainfed orchards in semiarid environments. *Soil and Tillage Research* 112, 85–91, 2011.
- RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A.; GUIMARÃES, P.T.G.; GUILHERME, L.R.G.; Frações oxidáveis do carbono orgânico de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. *Ciência e Agrotecnologia*, v.32, p. 429-437, 2008.
- REGANOLD, J.P.; PALMER, A.S.; Significance of gravimetric versus volumetric measurements of soil quality under biodynamic, conventional, and continuous grass management. *Journal Soil Water Conservation*, v. 50, n. 3, p. 298-305. 1995.
- REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; HORN, R.; HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. *Soil Tillage Research*, v. online, p.1-13, 2009.
- REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ciência e Ambiente*, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 29-48, jul./dez. 2003.
- REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; SILVA, V.R. Compactação do solo em sistema de plantio direto: limites críticos e mitigação. In: COUTO, E.G.; BUENO, J.F. (Eds). *Os (des) caminhos do uso da água na agricultura brasileira*. Cuiabá: Universidade Federal do Mato Grosso, 2003. 501p.
- REYNOLDS, W.D.; BOWMAN, B.T.; DRURY, C.F.; TAN, C.S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. *Geoderma*, Amsterdam, v. 110, p. 131-146, 2002.
- RHEINHEIMER, D.S.; KAMINSKI, J.; LUPATINI, G.C.; SANTOS, E.J.S. Modificações em Atributos químicos de Solo Arenoso Sob Sistema Plantio Direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 22, p.713-721, 1998.
- REZENDE, J.O. Conseqüências da aplicação de vinhaça sobre algumas propriedades físicas de um solo Aluvial (estudo de um caso), 112p. Tese de Doutorado (Solos e Nutrição de Plantas). Universidade de São Paulo, ESALQ. 1979.
- RIBEIRO JUNIOR, J. I. Análises estatísticas no SAEG. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001. 301p.
- RILLIG, M.C. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. *Canadian Journal of Soil Science*, v. 28, n. 4, p. 355-363, 2004.
- ROSA, C.M.; CASTILHOS, R.M.V.; PAULETTO, E.A.; PILLON, C.N.; LEAL, O.A. Conteúdo de carbono orgânico em Planossolo Háptico sob sistemas de manejo do arroz irrigado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, n. 5, p. 1769-1776, 2011.
- 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. (Eds). *Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: Modelagem matemática e simulação de sistemas*. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 304 p. 2006.

ROSSET, J.S. Caracterização da matéria orgânica, atributos químicos e físicos do solo sob diferentes sistemas de manejo na região oeste do Paraná. 112f. Tese (Programa de Pós Graduação em Agronomia). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, PR, 2015.

ROSSI, C.Q.; PEREIRA, M.G.; GIÁCOMO, S.G.; BETTA, M.; POLIDORO, J.C.; Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. Revista Ciência Agronômica, vol.43, n.1, pp. 38-46, 2012.

ROSSI, J.P.; HUERTA, E.; FRAGOSO, C. & LAVELLE, P. Soil properties inside earthworm patches and gaps in a tropical grassland. Eur. J. Soil Biol., 42:284-288, 2006.

ROTH, C.H.; WILCZYNSKI, W.; CASTRO FILHO, C.C. Effect of tillage and liming on organic matter composition in a Rhodic Ferralsol from southern Brazil. Zeitschrift Pflanzenernaehrung und Bodenkunde, Weinheim, v. 155, p. 175-179, 1992.

ROZANE, D.E.; CENTURION, J.F.; ROMUALDO, L.M.; TANIGUCHI, C.A.K.; TRABUCO, M.; ALVES, A.U. Estoque de carbono e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho Distrófico, sob diferentes manejos. Bioscience Journal, Uberlândia, v. 26, n. 1, p. 24-32, 2010.

SÁ, J.C.M.; CERRI, C.C.; PICCOLO, M.C.; FEIGL, B.E.; BUCKNER, J.; FORNARI, A.; SÁ, M.F.M.; SEGUY, L.; BOUZINAC, S.; VENZKE-FILHO, S.P.; PAULLETI, V.; NETO, M. S. O plantio direto como base do sistema de produção visando o sequestro de carbono. Revista Plantio Direto, Passo Fundo, v. 84, p.45-61, 2004.

SÁ, J.C.M.; CERRI, C.C.; DICK, W.A.; LAL, R.; VENSKE-FILHO, S.P.; PICCOLO, M.C.; FEIGL, B.E. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. Soil Science Society of American Journal, v. 65, p.1486 - 1499, 2001.

SALTON, J.C.; HERNANI, C.L.; FONTES, C.Z. Sistema de plantio direto. Brasília: SPI; Dourados: Embrapa-CPAO, 248p, 1998.

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. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 29. Dourados, 58p, Dezembro, 2005.

SALTON, R.S.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREZ, V.H.; CORRÊA, M.M.; COSTA, L.M. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. Revista Brasileira de Ciência do Solo, n. 32, p. 11-21, 2008.

SANTOS, D.C.; LIMA, C.L.R.; KUNDE, R.J.; CARVALHO, J.S.; ABEIJON, L.M.; PILLON, C.N. Agregação e proteção física da matéria orgânica em Planossolo Háptico sob diferentes sistemas de manejo. Bioscience Journal, 28:54-63, 2012.

SANTOS, G.G.; SILVEIRA, P.M.; MARCHÃO, R.L.; BECQUER, T.; BALBINO, L.C. Macrofauna edáfica associada a plantas de cobertura em plantio direto em um Latossolo Vermelho do Cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 43, n. 1, p. 115-122, jan. 2008.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, 3. ed. rev. ampl. Brasília, DF. Embrapa, 2013. 353p.

- SANTOS, J.C.P.; BARETTA, D.; ALVES, M.V.; CARDOSO, E.J.B.N.; Macrofauna edáfica e atributos químicos do solo em sistemas de plantio direto e convencional. In: Anais do XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. SBCS, Recife-PE, Brasil, CD-ROOM. 2005.
- SAYGIN, S.D.; CORNELIS, W.M.; ERPUL, G.; GABRIELS, D. Comparison of different aggregate stability approaches for loamy sand soils. *Applied Soil Ecology*, v. 54, p. 1-6, 2012.
- SCHNITZER, M.; KHAN, S.U. Humic substances in the environment. Marcel Dekker, New York, p.2-3, 1972.
- SCHNITZER, M. Soil organic matter – the next 75 years. *Soil Science*, v. 151, p.41-58, 1991.
- SCHOENHOLTZ, S.H.; VAN MIEGROET, H.; BURGER, J.A. A review of chemical and physical properties as indicators of forest quality: challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 138, p. 335-356, 2000.
- SECCO, D.; DA ROS, C.O.; SECCO, J.K. & FIORIN, J.E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:407-414, 2005.
- SILVA, A.A.; GALON, L.; FERREIRA, F.A.; TIRONI, S.P.; FERREIRA, E.A.; SILVA, A.F.; ASPIAZÚ, I.; AGNES, E.L. Sistema de plantio direto na palhada e seu impacto na agricultura brasileira. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 56, p. 496-506, 2009.
- SILVA, E.F.; LOURENTE, E.P.R.; MARCHENTTI, M.E.; MERCANTE, F.M.; FERREIRA, A.K.T.; FUJII, G.C. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica do solo sob integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46:1321-1331, 2011.
- SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 253-260, 2001.
- SILVA, C.F. Indicadores da qualidade do solo em áreas de agricultura tradicional no entorno do Parque Estadual da Serra do Mar em Ubatuba- SP. 2005. 80p. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica.
- SILVA, F.F.; FREDDI, O.S.; CENTURION, J.F.; ARATANI, R.G.; ANDRIOLI, F.F.; ANDRIOLI, I. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho cultivado no sistema de plantio direto. *Irriga*, v. 13, n.2, p. 191-204, 2008.
- SILVA, F.R.; AQUINO, A.M.; MERCANTE, M.F.; GUIMARÃES, F.M. Macrofauna invertebrado do solo sob diferentes sistemas de produção em latossolo da região do cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 41(4): 697-704p, 2006.
- SILVA, I.R. & MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, 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, p.374-470. 2007.
- SILVA, R.F.; MERCANTE, F.M.; AQUINO, A.M. Macrofauna do solo associada ao sistema plantio direto. Embrapa agropecuária oeste, Dourados-MS, 2002.
- SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 20, p.113-117, 1997.
- SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; MIGUEL, J. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. *Ciência Rural*, v.30, n.5, p.795-801, 2000.

- SILVA NETO, L.F.; INDA JUNIOR, A.V.; BAYER, C.; DICK, D.P.; TONIN, A.T. Óxidos de ferro em Latossolos tropical e subtropical brasileiros em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 1873-1881, 2008.
- SILVA NETO, L.F.; SILVA, I.F.; INDA, A.V.; NASCIMENTO, P.C.; BORTOLON, L. Atributos físicos e químicos de agregados pedogênicos e de coprólitos de minhocas em diferentes classes de solos da Paraíba. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 34, n. 6, p. 1365-1371, nov/dez., 2010.
- SINGER, M.; EWING, S. Soil quality. In: Sumner, M.E. (ed.). *Handbook of soil science*. Boca Raton: CRC Press, p.271-298, 2000.
- SIQUEIRA NETO, M. Estoque de carbono e nitrogênio do solo com diferentes usos no Cerrado Goiano. 159 f. Tese. (Doutorado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo. Piracicaba. 2006.
- SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. de C., FEIGEL, B.J.; VESZKE FILHO, S. de P.; CERRI, C.E.P.; CERRI, C.C. Rotação de culturas no sistema plantio direto em Tibagi (PR). II - Emissões de CO₂ e N₂O. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, n.4, p.1023-1029, 2009.
- SIQUEIRA NETO, M.; SCOPEL, E.; CORBEELS, M.; CARDOSO, A.N.; DOUZET, J.M.; FELLER, C.; PICCOLO, M.C.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M. Soil carbon stocks under no-tillage mulch-based cropping systems in the Brazilian Cerrado: An on-farm synchronic assessment. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 110, n. 1, p. 187-195, 2010.
- SISTI, C.P.J.; DOS SANTOS, H.P.; KOHHANN, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. *Soil & Tillage Research*. v.76, p. 39-58. 2004.
- SIX, J.; FELLER, C.; DENEFF, K.; OGLE, M.; MORAES, J.C.; ALBRECHT, A. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils: effects of tillage. *Agronomie*, 22, 755-775. 2002.
- SIX, J.; ELLIOT, E.T.; PAUSTIAN, K. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biology and Biochemistry* 32, 2099-2103p, 2000.
- SMYTH, A.J.; DUMANSKI, J. A framework for evaluating sustainable land management. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, v.75, n.4, p.401-406, 1995.
- SOUZA, F.S.; FARINELLI, R.; ROSOLEM, C.A. Desenvolvimento radicular do algodoeiro em resposta à localização do fertilizante. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 31, p. 387-392, 2007.
- SOUZA, W.J.O. & MELO, W.J. Matéria orgânica de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de produção de milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p. 1113-1122, 2003.
- SOUZA, L.S.; SOUZA, L.D.; SOUZA, L.F.S. Indicadores físicos e químicos de qualidade do solo sob o enfoque de produção vegetal: Estudo de caso para citros em solos coesos de tabuleiros costeiros. In: Congresso Brasileiro De Ciência Do Solo, 29, Ribeirão Preto, 2003. Anais. Ribeirão Preto, UNESP, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. CD-ROM.
- SPEHN, E.M.; JOSHI, J.; SCHMID, B.; ALPHEI, J.; KÖRNER, C. Plant diversity effects on soil heterotrophic activity in experimental grassland ecosystems. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 224, p. 217-230, 2000.

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.28, p.533-542, 2004.

SQI-Soil Quality Institute. Indicators for soil quality evaluation. USDA Natural Resources Conservation Service. Prepared by the National Soil Survey Center in cooperation with The Soil Quality Institute, NRCS, USDA, and the National Soil Tilth Laboratory, Agricultural Research Service. USA. P. 1996.

STEVENSON, F.J. Humus chemistry: genesis, composition, reactions. New York: John Wiley, 496p. 1994.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M.; MOREIRA, J.A.A. Atributos físico-hídricos do solo sob plantio direto. Documentos 191, Embrapa, 2006.

SWIFT, R.S. Organic matter characterization. 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. (Eds.). *Methods of soil analysis*. Madison: Soil Science Society of America: American Society of Agronomy, (Soil Science Society of America Book Series, 5). Part 3. Chemical methods. p.1011-1020, 1996.

SWIFT, M.J.; HEAL, O.W. & ANDERSON, J.M. Decomposition in terrestrial ecosystems. University of California Press, Berkeley, 372 p. 1979.

THENG, B.K.G. Clay-humic interactions and soil aggregate stability. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. (Eds), *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*. Honolulu, University of Hawaii, NifTAL project, p. 5-32, 1987.

THENG, B.K.G.; TATE, K.R.; SOLLINS, P. Constituents of organic matter in intemperate tropical soils. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. (Eds), *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*. Honolulu, University of Hawaii, NifTAL Project, 1989.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Stabilization of soil aggregates by the root systems of yegrass. *Australian Journal of Soil Science*, v.17, p. 429-441, 1979.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, Oxford, v. 33, n. 1, p. 141-163, 1982.

TOMASI, C.A. Atributos químicos e matéria orgânica em Latossolo Vermelho de altitude sob usos e manejos distintos. 79 p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2011.

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

TORMENA, C.A.; BARBOSA, M.C.; COSTA, A.C.S.; GONÇALVES, C.A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.59, p.795-801, 2002.

TORMENA, C.A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J.C.; COSTA, A.C.S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 28, n.6, p. 1023-1031, 2004.

UMAKANT, M.; USSIRI, D.; LAL, R. Tillage effects on soil organic carbon storage and dynamics in Corn Belt of Ohio USA. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 107, n. 2, p. 88-96, 2010.

- VEIHMEYER, F.J.; HENDRICKSON, A.H. Soil density as a factor in determining the permanent wilting percentage. *Soil Science*, v.62, p.451-456, 1948.
- VELÁSQUEZ, E.; PELOSI, C.; BRUNET, D.; GRIMALDI, M.; MARTINS, M.; RENDEIRO, A. C.; BARRIOS, E.; LAVELLE, P. This ped is my ped: Visual separation and near infrared spectra allow determination of the origins of soil macroaggregates. *Pedobiologia*, Jena, v. 51, p. 75-87, 2007.
- VERONESE, M.; FRANCISCO, E.A.B.; ZANCANARO, L.; ROSOLEM, C.A. Plantas de cobertura e calagem na implantação do sistema plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.47, n.8, p.1158-1165, 2012.
- VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. O solo como sistema. Curitiba: Ed. dos autores, p.104, 2011.
- VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, n.4, p. 743-755, 2009.
- VEZZANI, F. M. Qualidade do sistema solo na produção agrícola. 184 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós – Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- VIEIRA, L.M.; MENDEL, S.M. Riqueza de artrópodes relacionada à complexidade estrutural da vegetação: uma comparação entre métodos. *Ecologia de Campo – Curso de Campo*. UFMS. Campo Grande-MS. In: VENTICINQUE, E.; HOPKINS, M. (Eds.), 2002.
- WANG, X.; GONG, Z. Assessment and analysis of soil quality changes after eleven years of reclamation in subtropical China. *Geoderma*, Amsterdam, v.81, n.3-4, p.339-355, 1998.
- WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E.S.; NEVES J.C.L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.40, n.5, p.487-494, 2005.
- WOLFARTH, F., SCHRADER, S., OLDENBURG, E., WEINERT, J., BRUNOTTE, J. Earthworms promote the reduction of Fusarium biomass and deoxynivalenol content in wheat straw under field conditions. *Soil Biology and Biochemistry* 43, 1858–1865. 2011.
- YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.19, p. 1467-1476, 1988.
- YOODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soil and study of the physical nature of erosion losses. *Journal American Society Agronomy*, Madison, v. 28, n. 1, p. 337-351, 1936.
- ZILLI, J.E; RUMJANEK, N.G.; XAVIER, G.R.; COUTINHO, H.L.C.; NEVES, M.C.P. Diversidade microbiana como indicador de qualidade do solo. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, Brasília, v. 20, n. 3, p. 391- 411, 2003.