

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE AQUIDAUANA
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS INTEGRADOS
DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA, SOB LATOSSOLOS
VERMELHOS NO MATO GROSSO DO SUL**

Roseline da Silva Coêlho

AQUIDAUANA - MS
FEVEREIRO/ 2020

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE AQUIDAUANA
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS INTEGRADOS
DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA, SOB LATOSSOLOS
VERMELHOS NO MATO GROSSO DO SUL**

Acadêmica: Roseline da Silva Coêlho
Orientadora: Michely Tomazi

“Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal)”.

AQUIDAUANA – MS
FEVEREIRO/ 2020

C619q Coêlho, Roseline da Silva

Qualidade do solo em sistemas de produção agropecuária,
sob Latossolos Vermelhos no Mato Grosso do Sul/Roseline da
Silva Coêlho. – Aquidauana: UEMS, 2020.

79p.

Dissertação (Mestrado) – Agronomia – Universidade
Estadual de Mato Grosso do Sul, 2020.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Michely Tomazi

1. Atividade Microbiana 2. Carbono 3. Enzimas do solo I.
Tomazi, Michely II. Título

CDD 23. ed - 631.4

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE AQUIDAUANA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

ROSELINE DA SILVA COELHO

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Agronomia.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 06/02/2020.



Dra. Michely Tomazi - EMBRAPA
Orientadora



Dr. Éder Comunello, EMBRAPA



Dra. Elaine Reis Pinheiro Lourente, UFGD

“O segredo da vida é o solo, porque do solo dependem as plantas, a água, o clima e nossa vida. Tudo está interligado. Não existe ser humano sadio se o solo não for sadio”.

Ana Primavesi

Ao meu namorado Cristiano Moreira, meu companheiro e amigo, cujo carinho tornou essa jornada mais feliz.

Aos meus pais pela compreensão e apreço.

A minha orientadora Michely Tomazi, pois me abriu caminhos e tornou possível a realização desse trabalho

A todos os meus professores, pois foram muito importantes para o meu crescimento acadêmico.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS, pelo ensino público e de qualidade, desde minha graduação, mestrado e futuramente no doutorado.

Ao programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal) da Unidade Universitária de Aquidauana. A todos os professores do programa, vocês foram muito importantes nessa etapa.

À minha orientadora prof. Dra Michely Tomazi, pela oportunidade, incentivo, dedicação e conselhos ao me orientar nessa jornada, te agradeço muito por tornar possível a realização deste trabalho.

Ao Dr. Prof. Júlio Cesar Salton, por disponibilizar as áreas de estudo, e pelas correções durante meu exame de qualificação.

Agradeço à Dra Ieda de Carvalho Mendes e sua equipe no laboratório de microbiologia do solo da Embrapa-Cerrados, pela realização das análises enzimáticas do experimento de Naviraí, MS.

Ao Dr. Éder Comunello, pelo auxílio e sugestões com as análises estatísticas.

À Embrapa Agropecuária Oeste, por disponibilizar todo o apoio necessário para a realização das coletas, análises do solo e participação em eventos científicos.

Ao Vladimir e ao Edson do Laboratório de microbiologia do solo da EMBRAPA/CPAO, vocês foram muito importantes para a realização desse trabalho, obrigada pela amizade.

Aos estagiários Isa e Marcelo, pela imensa colaboração nas análises microbiológicas da

área de Ponta Porã.

Ao Dr. prof. Jolimar Antonio Schiavo, pelas importantes colaborações na minha qualificação.

As minhas colegas de dia a dia em Dourados, Elsa Bastos, Patrícia Junqueira, Rhaisa Bárbara, Geisily, especialmente a Lenise Castilho, saibam que vocês tornaram meus dias em Dourados mais leve.

Ao meu namorado, pelo amor, carinho e conselhos em todos os momentos, e por todo o companheirismo que tornaram meus dias mais felizes.

À CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão da bolsa de estudos.

Agradeço a todos que contribuíram para a realização desse trabalho, muito obrigada!

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS	1
Sistemas de manejo do solo e produção agropecuária.....	1
Qualidade do solo	5
Indicadores da Qualidade do solo	6
Biomassa Microbiana (C-BMS) e quociente microbiano do solo (q_{Mic}).....	7
Respiração Microbiana (C-CO ₂) e quociente metabólico microbiano (q_{CO_2}) do Solo	9
Enzimas do solo	11
Estrutura do Solo e Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES)	13
REFERÊNCIAS	14
CAPÍTULO 2 - QUALIDADE DO SOLO POR MEIO DE BIOANÁLISE E DRES, EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO SOB LATOSSOLOS VERMELHOS DE MATO GROSSO DO SUL	25
1. INTRODUÇÃO	28
2. MATERIAL E MÉTODOS	29
Caracterização das áreas experimentais	29
Área 1 – Estação experimental da Embrapa Agropecuária Oeste em Ponta Porã/MS	29
Área 2 – Unidade de produção da URT Copasul em Naviraí/MS	32
Amostragem de solos.....	37
Análises dos atributos do solo	37
Carbono da Biomassa Microbiana do Solo (C-BMS)	37
Respiração microbiana do Solo (C-CO ₂) e quociente metabólico microbiano (q_{CO_2})	
.....	38
Atividade enzimática	39
Enzima β -Glicosidade.....	39
Enzima Sulfatase.....	39
Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES).....	40
Análises estatísticas	40
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
Carbono da Biomassa Microbiana do Solo (C-BMS)	42
Respiração Microbiana do Solo (C-CO ₂)	44
Quociente Metabólico Microbiano (q_{CO_2}).....	46
Quociente Microbiano do Solo (q_{Mic}).....	48
Atividade Enzimática da Sulfatase	50
Atividade da Enzima β -glicosidase.....	52
Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES).....	54

Análise de Componentes Principais	57
4. CONCLUSÕES	59
5. REFERÊNCIAS	60

RESUMO

Atualmente existe uma grande pressão social e econômica para a produção mundial de alimentos. Para atender as demandas produtivas e superar as restrições no uso da terra, é necessário o uso de práticas de manejo de produção agrícola adequadas, que promovam a “qualidade do solo”, visando reduzir a degradação do solo e elevar a produção. Dessa forma, a avaliação da qualidade dos sistemas de produção e manejo do solo é importante para direcionar as tomadas de decisão que resultem em manutenção e aumento da capacidade produtiva de áreas agrícolas. As modificações na matéria orgânica do solo pelos usos de sistemas de manejo do solo podem ser avaliadas através de seus atributos químicos, físicos e biológicos. Os indicadores microbiológicos e estrutura do solo trazem resultados satisfatório para a avaliação dos atributos edáficos, pois são sensíveis e respondem rapidamente as alterações no uso do solo. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a qualidade do solo através dos indicadores microbiológicos e estrutura do solo, em sistemas tradicionais e integrados de manejo do solo. Foram estudadas duas áreas com experimentos de longa duração sob Latossolo Vermelho Distrófico, com 45% de argila e oito anos de implantação em Ponta Porã, MS, e com 18% de argila e cinco anos de implantação em Naviraí, MS. Em ambas áreas, foram avaliados os sistemas de produção: Sistema de Plantio Direto (SPD), Sistema de Preparo Convencional (SPC), floresta de eucalipto (FL), Integração Lavoura-Pecuária em fase de lavoura e pastagem (ILP_p; ILP_lav) e Lavoura-Pecuária-floresta em fase de lavoura e pastagem (ILPF_p; ILPF_lav), Pastagem Permanente (PP), Vegetação Nativa (VN) e um Pasto Referência (PR) no experimento de Naviraí. Para análise microbiológica o solo foi coletado de 0 a 10 cm de profundidade, em seis pontos por parcela para compor uma amostra composta. Para a análise da estrutura do solo, foi aberta seis minitrincheiras em cada tratamento, de onde foram retirados um bloco de solo com espessura de 10 cm, 20 cm de largura e 25 cm de profundidade, armazenado em bandeja de plástico para posterior análise visual. As análises foram realizadas na Embrapa Agropecuária do Oeste, onde foram determinados o carbono da biomassa microbiana (C-BMS), respiração microbiana (C-CO₂), quociente metabólico (qCO_2), quociente microbiano ($qMic$), e atividade das enzimas Sulfatase e β -glicosidase, e análise visual da estrutura do solo pelo método do diagnóstico rápido da estrutura do solo (DRES). Os dados foram submetidos a análise de variância e analisados por meio de contraste ortogonais e análise de componentes principais. Os contrastes ortogonais permitiram avaliar os tratamentos em séries de comparações, tornando possível separar e comparar os tratamentos em dois grupos, facilitando o entendimento

do efeito e diferenças dos manejos no solo. Em Ponta Porã a VN apresentou maiores índices nos indicadores analisados. Por outro lado, em Naviraí a VN apresentou os menores $q\text{CO}_2$ ($17,42 \mu\text{g de C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ C-BMS h}^{-1}$), β -glicosidase ($11 \mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$) e sulfatase ($28,67 \mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$). Com exceção do $q\text{CO}_2$, as pastagens apresentaram maiores atividades nos indicadores para as duas áreas estudadas, e entre as pastagens, a PP apresentou as maiores atividades do C-CO₂ ($36,55 \mu\text{g de CO}_2\text{-C g}^{-1} \text{ solo dia}^{-1}$), $q\text{CO}_2$ ($56,28 \mu\text{g de C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ C-BMS h}^{-1}$) e sulfatase ($170,43 \mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$) em Ponta Porã, e na sulfatase ($168,50 \mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$) em Naviraí. Com exceção do $q\text{CO}_2$ em Ponta Porã e da C-BMS e $q\text{Mic}$ em Naviraí, os maiores índices nos indicadores foi nos pastos sem integração arbórea (PP e ILP_p) em relação ao ILPF. Em Ponta Porã, a sulfatase e o DRES foram maiores na lavoura integrada (ILP_lav e ILPF_lav) em relação as lavouras simples de SPD e SPC, no entanto, para as duas áreas, a β -glicosidase foi maior nas lavouras simples, em relação as lavouras integradas. O SPD foi maior em relação ao SPC na β -glicosidase ($68,20 \mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$) e no DRES (3,72 IQEs) em Ponta Porã e para a sulfatase ($111,67 \mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$) em Naviraí. Os melhores resultados dos indicadores foram nos sistemas integrados de ILP e na PP. A atividade da enzima sulfatase foi o indicador que melhor evidenciou as diferenças nos sistemas de manejo do solo. O DRES foi eficiente e permitiu evidenciar as melhorias na estrutura do solo com uso de sistemas de manejo mais complexos (Refazer resultados).

PALAVRAS-CHAVE: Microbial activity, β -glycosidase, orthogonal contrasts, agrosilvopastoral systems, sulfatase

ABSTRACT

Currently, there is great social and economic pressure for world food production. In order to meet productive demands and overcome land use restrictions, it is necessary to use used agricultural production management practices, which promote "soil quality", reduce soil degradation and increase production in areas with agricultural use . Thus, an evaluation of the quality of the production and soil management systems is important for decision making that results in maintenance and increase in the productive capacity of agricultural areas. How changes in soil organic matter through the use of the soil management system can be assessed through its chemical, physical and biological attributes. Microbiological indicators and soil structure bring satisfactory results for the evaluation of graphic attributes, as they are identified and react quickly as changes in land use. The objective of the present work was to evaluate the soil quality through microbiological indicators and soil structure, in traditional and integrated soil management systems. Two areas with long-term experience in the Red Latosol Dystrophic were studied, with 45% clay and eight years of implantation in Ponta Porã, MS, and with 18% of clay and five years of implantation in Naviraí, MS. In both areas, the production systems were evaluated: No-Tillage System (SPD), Conventional Tillage System (SPC), Eucalyptus Forest (FL), Crop-Livestock Integration in tillage and pasture (ILP_p; ILP_lav) and Crop-Livestock-Forest in tillage and pasture (ILPF_p; ILPF_lav), Permanent Pasture (PP), Native Vegetation (VN) and Pasture Reference (PR) in the Naviraí experiment. For microbiological analysis, the soil was collected from 0 to 10 cm deep, at six points per plot to compose a composite sample. For the analysis of the soil structure, six mini-trenches were opened in each treatment, from which a 10 cm thick, 20 cm wide and 25 cm deep soil block was removed, stored in a plastic tray for later visual analysis. The analyzes were carried out at Embrapa Agropecuária do Oeste, where the carbon of the microbial biomass (C-BMS), microbial respiration (C-CO₂), metabolic quotient (q_{CO_2}), microbial quotient (q_{Mic}), and activity of the enzymes Sulfatase and β -glycosidase, and visual analysis of soil structure using the rapid soil structure diagnosis (DRES) method. The data were subjected to analysis of variance and analyzed using orthogonal contrast and principal component analysis. The orthogonal contrasts allowed to evaluate the treatments in series of comparisons, making it possible to separate and compare the treatments in two groups, facilitating the understanding of the effect and differences of the management in the soil. In Ponta Porã, VN presented the highest

indexes in the analyzed indicators. On the other hand, in Naviraí, the VN presented the lowest $q\text{CO}_2$ ($17.42 \mu\text{g C-CO}_2\text{g}^{-1} \text{C-BMS h}^{-1}$), β -glycosidase ($11 \mu\text{g p-nitrophenol g}^{-1}$ in soil h^{-1}) and sulfatase ($28.67 \mu\text{g of p-nitrophenol g}^{-1}$ soil h^{-1}). With the exception of $q\text{CO}_2$, pastures showed greater activity in the indicators for the two areas studied and, among pastures, PP had the highest C- CO_2 activities ($36.55 \mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$ soil day^{-1}), $q\text{CO}_2$ ($56.28 \mu\text{g of C-CO}_2\text{g}^{-1} \text{C-BMS h}^{-1}$) and sulfatase ($170.43 \mu\text{g of p-nitrophenol g}^{-1}$ in soil h^{-1}) in Ponta Porã and sulfatase ($168.50 \mu\text{g p-nitrophenol g}^{-1}$ in soil h^{-1}) in Naviraí. With the exception of $q\text{CO}_2$ in Ponta Porã and C-BMS and $q\text{Mic}$ in Naviraí, the highest indexes in the indicators were in pastures without tree integration (PP and ILP_p) in relation to ILPF. In Ponta Porã, sulfatase and DRES were higher in integrated cultures (ILP_lav and ILPF_lav) in relation to simple cultures of SPD and SPC, however, in both areas, β -glycosidase was higher in simple cultures, in relation to integrated cultures. SPD was higher than SPC in β -glycosidase ($68.20 \mu\text{g of p-nitrophenol g}^{-1}$ soil h^{-1}) and in DRES (3.72 IQEs) in Ponta Porã and in sulfatase ($111.67 \mu\text{g of p-nitrophenol g}^{-1}$ solo h^{-1}) in Naviraí. The best results of the indicators were in the integrated ILP and PP systems. The activity of the sulfatase enzyme was the indicator that best evidenced the differences in the soil management systems. DRES was efficient and allowed to evidence improvements in the soil structure with the use of more complex management systems.

KEY-WORDS: Microbial activity, carbon, soil enzymes, agrosilvipastoral systems

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Sistemas de manejo do solo e produção agropecuária

Atualmente existe uma grande pressão social e econômica para a produção mundial de alimentos. Conforme as previsões para as próximas décadas, as projeções populacionais indicam um crescimento acelerado e contínuo, com uma necessidade crescente de alimentos no mundo. De acordo com a ONU (2012), a população mundial em 2024 será superior a 8 bilhões de pessoas e, em 2050, superior a 9,5 bilhões. Estes números indicam um crescimento de 13,16% de 2012 a 2024 e 34,90% entre 2012 a 2050.

Conforme estudo realizado por Saath e Fachinello (2016), buscando analisar o crescimento da demanda mundial por alimentos e disponibilidade de terras entre os anos de 2012 a 2024, utilizando o método de avaliação da produtividade estimada pela literatura, relatou que a demanda por terras seria de 208.586 mil hectares, inferiores as terras legalmente disponíveis para uso agropecuário. Dentre as atividades agrícolas de uso da terra, a pecuária é a atividade que mais utilizaria terras em 2024, com uma expansão de 8.207 mil hectares no período de 2012 a 2024. O autor também relata que com práticas de ajustes de produtividade de lavouras e maior lotação na pecuária seriam suficientes para atender as demandas no período estudado.

Dessa forma, para atender as demandas produtivas e superar as restrições no uso da terra, é necessário o uso de práticas de manejo de produção agrícola adequados, que promovam a “qualidade do solo”, visando reduzir a degradação do solo, elevar a produção em áreas com uso agropecuário. Esse cenário mostra a importância do desenvolvimento de sistemas de manejo do solo e de produção agrícola que associem alta produção agropecuária com preservação do meio ambiente.

Sistemas conservacionistas de manejo do solo tem se tornado foco de estudos científicos, dado que esses sistemas têm se mostrado útil em garantir qualidade das atividades agrícolas e conservação do solo, quando comparado com formas de manejos convencionais, com uso de grades e arados para revolvimento do solo e situações de pasto degradado (BAYER et al., 2004; MAIA et al., 2006; AGUIAR, 2008; PORTILHO et al.,

2011; LOSS et al., 2012; ASSIS et al., 2015;; CHERUBIN et al., 2015; MELO et al., 2016).

O sistema em Plantio direto (SPD) teve expansão no Brasil na década de 1990, tornando-se uma opção viável em garantir a qualidade do solo. A utilização desse sistema conservacionista visa aumentar a sustentabilidade da agricultura por meio da redução das operações de preparo do solo e ausência de revolvimento do solo, reduz o uso de herbicidas no controle de daninhas, possibilita a formação de cobertura morta sobre a superfície do solo, e promove rotação de cultura, (AQUINO, 2007; CRUZ et al, 2001), contribuindo para o aumento do aporte de material orgânico no solo. Diversos trabalhos publicados na literatura conduzidos sob condições específicas vêm relatando as melhorias nos atributos do solo, dos quais os biológicos (LISBOA et al., 2012; DADALTO et al., 2015), os físicos (MARCHÃO et al., 2007; SALTON et al., 2008) e os químicos (LIMA et al., 2013; NASCENTE et al., 2014), sob uso do solo em SPD, evidenciando a capacidade de melhoria na qualidade do solo através da adoção desse sistema.

Dado que o propósito de que os sistemas de manejo do solo devem ter como objetivo a produção de qualidade e aumento da Matéria Orgânica do Solo (MOS) (SALTON et al., 2005), surge alternativas de manejos conservacionistas que utilizam consórcio entre culturas agrícolas, florestais e introdução de animais no sistema, tais como os sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP) e integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), no SPD, em diferentes arranjos. Esses sistemas são capazes de aumentar a MOS e o aporte de Carbono (C), pois fundamentam-se pela integração temporal e espacial dos componentes dos sistemas produtivos, com utilização de culturas agrícolas anuais em sequência à pastagem no SPD, visando a manutenção e diversificação da cobertura do solo e ausência de revolvimento.

Nesses sistemas, utiliza-se uma lavoura anual como cultura de verão, subsequente à pastagem, e os efeitos da cultura de verão no solo traz benefícios à pastagem, de mesmo modo que os efeitos das gramíneas são observados nas lavouras (SALTON et al., 2001; KLUTHCOUSKI & AIDAR, 2003). A utilização desses sistemas de manejo do solo é uma forma de manter a sustentabilidade agrícola, visto que sua implantação propicia vantagens sociais, ambientais e econômicas nas áreas em uso. Por exemplo, a diversificação das espécies de culturas agrícolas por meio da rotação de culturas e a inserção do componente florestal podem garantir a renda do produtor, além

dos benefícios ambientais devido a menor necessidade de utilização de fertilizantes e defensivos agrícolas. Também contribuem para aumento do C no solo com a inclusão das pastagens em áreas de lavouras, além das melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo que refletem na produção primária da lavoura e/ou pecuária (SALTON et al., 2001; ALVARENGA et al., 2010).

É importante ressaltar que o aumento ou redução do estoque de carbono no solo decorrente da adoção de um determinado sistema agropecuário, será correspondente ao saldo entre a entrada de C no sistema via fotossíntese ou dejetos animais, e as saídas do sistema via produtos, respiração, oxidação, fermentação, e outros fatores (SALTON et al., 2005). Dessa forma, os sistemas em ILP e ILPF tem sido capaz de aumentar o armazenamento de MOS no solo (SOUZA et al., 2009; LEITE et al., 2010; CARVALHO et al., 2016; JOVANOVIC, 2017), pois exercem fatores fundamentais para o incremento nos teores de C no solo, principalmente pelo uso da integração com pastagens.

Sistemas com pastagens apresentam a maior parte do C armazenado abaixo da superfície do solo e no sistema radicular, além da deposição de dejetos pelos animais em pastejo, que pode significar importante fator de reciclagem e de concentração de carbono e nitrogênio no solo (SALTON et al., 2005). As pastagens atuam como fonte ou drenos de C para a atmosfera (NADAL-ROMERO et al., 2016), sendo fontes de C quando a decomposição é maior do que a entrada de MOS, o que leva à diminuição nos estoques de C, e drenos quando a entrada de MOS é maior que a perda, resultando em acúmulo de C.

A principal forma de decomposição da MOS e consequente sua saída do sistema para a atmosfera se dá através da atividade dos microrganismos no solo, e a velocidade dessa decomposição está relacionada com a textura do solo, ocorrência dos mecanismos de proteção da MOS, como agregação e interação com minerais (SALTON et al 2005), tipo de manejo adotado, e tempo de implantação do uso da terra, pois nos primeiros anos após a implantação de pastagens, por exemplo, o estoque de C do solo tende a diminuir (ARAÚJO et al., 2011; OLIVEIRA, 2018), devido as saídas serem maiores do que o saldo de entrada.

Sistemas de manejo do solo que envolvem revolvimento com aração e gradagem, reduzem as interações que resultam em proteção da MOS e a expõe à atividade de microrganismos e enzimas do solo (GREGORICH et al., 1994; BALESSENT et al.,

2000). A textura e tipo do solo intervém no incremento de C do solo, visto que as argilas possuem maior superfície específica dentre as partículas do solo, o que resulta em interação entre a MOS e as argilas, conferindo em estabilidade e proteção da ação de microrganismos, aumentando o incremento de C no solo (SANTOS et al., 2016; DURIGAN et al., 2017).

Sistemas que envolvem pastagens bem manejadas possuem potencial para acumular C no solo (CONANT et al., 2001; MAIA et al., 2009; ARAÚJO et al., 2011; ASSAD et al., 2013), sendo capaz de manter o nível de estoque de C no solo igual ou superior ao da vegetação nativa (BRAZ et al., 2013; NADAL-ROMERO et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2016). Em estudo utilizando meta-análise global, Conant et al. (2001), estimaram que pastagens bem manejadas apresentam uma taxa de acúmulo de C de 0,30 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, enquanto pastagens bem manejadas no bioma Cerrado, apresentam taxas de acúmulo de C de 0,61 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (MAIA et al., 2009).

A ciclagem pelo sistema radicular, associada a ausência de revolvimento do solo, é apontada como o principal fator para o acúmulo de C em solo sob pastagens (OLIVEIRA, 2018). Logo, as lavouras subsequentes as pastagens em sistemas integrados sob SPD serão beneficiadas pelo efeito no solo gerado pelas gramíneas, sustentando a capacidade em manter o aporte de C maior do que a saída desse elemento do sistema.

As modificações na MOS pelos usos de sistemas de manejo do solo podem ser avaliadas através de seus atributos químicos, físicos e biológicos, visto que a MOS é relacionada a essas propriedades (ARAÚJO et al., 2012; FERREIRA et al., 2016). Contudo, as alterações nos estoques de C é em geral é um processo lento, sendo difícil de perceber modificações significativas a curto prazo. Dessa forma, é possível buscar informações complementares sobre a dinâmica da MOS através de métodos qualitativos dos atributos do solo, visto que são dependentes da MOS. Portanto, a qualidade do solo em sistemas de manejo pode ser avaliada pelo aporte de MOS, visto que essa é a principal entrada de C orgânico no solo.

Os microrganismos do solo dependem do C como energia para sua atividade, e menores entrada de C no solo pode ocasionar em redução na atividade de microrganismos e estresse ecológico, influenciando diretamente a ciclagem dos nutrientes no solo, e consequente a produção primária do sistema. Assim, os atributos biológicos são os primeiros a serem influenciando com a mudança no uso do solo (ARAÚJO et al., 2012),

e dentre as variáveis podem ser analisadas o teor de C da biomassa microbiana, teor de C liberado por respiração, atividades de enzimas do solo, entre outros.

Nos próximos tópicos, será abordado os conceitos e definições da qualidade do solo, e de alguns índices microbiológicos utilizados para a avaliação e monitoramento da qualidade através da dinâmica MOS, também será abordado a utilização de um método recentemente desenvolvido no Brasil para avaliação da estrutura do solo. O conhecimento da qualidade do solo em determinado sistema de manejo é de extrema importância no ambiente científico e agrícola, pois direciona tomadas de decisões a fim de buscar sustentabilidade das atividades agrícolas, aliadas a conservação do solo e da água e maiores aporte de C no solo.

Qualidade do solo

Considerando o solo como um recurso finito, foi definido a qualidade do solo como sendo a capacidade de um solo funcionar dentro dos limites impostos pelo ecossistema, para sustentar a produtividade vegetal e animal, manter qualidade do ar e da água, e apoiar saúde humana e habitação (DORAN et al., 1996; KARLEN et al., 1997; DORAN & ZEISS, 2000). Portanto, o solo tem uma alta qualidade quando ele é capaz de desenvolver as suas funções em plenitude (VEZZANI & MIELNICZUK, 2009).

Doran e Zeiss (2000) considera os termos “saúde” e “qualidade” do solo como sinônimos. No entanto, os mesmos mencionam que o termo qualidade do solo está relacionada à aptidão dos solos, enquanto saúde do solo é mais amplo, usado para indicar a capacidade do solo em sustentar a produtividade biológica, desta forma, semelhante à sustentabilidade.

A definição da qualidade do solo tem sido uma questão desafiadora, pois os solos apresentam alta variabilidade em suas propriedades, características e funções (KARLEN & STOTT, 1994; ZORNOZA et al., 2015), dentro das restrições estabelecidas pelo clima, e é um componente afetado pela gestão e uso das terras (DORAN & ZEISS, 2000). Apesar do maior enfoque na agricultura ser a produtividade da cultura, isso em razão do objetivo econômico, é necessário manter a qualidade do solo, a fim de continuar o avanço social, econômico e ambiental global (ZORNOZA et al., 2015). Dessa forma, é fundamental que desenvolvamos sistemas de produção que protejam e aprimorem a qualidade do solo (; DORAN & ZEISS, 2000; CHERUBIN et al., 2015).

Por ser resultado de interações físicas, químicas e biológicas, uma avaliação apropriada da qualidade do solo requer a estimação de diversos parâmetros (MARZAIOLI et al., 2010). A aplicação de indicadores de qualidade do solo, relacionados à sua funcionalidade, é uma forma indireta de estimar a qualidade dos solos, útil para acompanhar mudanças no ambiente (ARAÚJO et al., 2012). A seleção de indicadores de qualidade do solo é guiado pelo objetivo do gerenciamento de ecossistemas, e as metas de gestão também podem diferir pelos interesses e visões de diferentes gerenciadores da agricultura (LAISHRAM et al., 2012).

Mesmo que a importância da avaliação da qualidade do solo esteja sendo cada vez mais realizada, ainda não há consenso global sobre como isso deve ser procedido (ARAÚJO et al., 2012; LAISHRAM et al., 2012; ZORNOZA et al., 2015). Os índices de qualidade do solo são ferramentas de decisão que combina efetivamente uma variedade de informações para tomada de decisão (KARLEN & STOTT, 1994).

Indicadores da Qualidade do solo

Indicadores são propriedades ou características mensuráveis, que informam como estão as funções do solo em prestar seus serviços ambientais essenciais (ZORNOZA et al., 2015; KIANI et al., 2017). Esses indicadores devem ser de fácil medição, precisos para tais propósito, e de baixo custo (SCHLOTTER et al., 2017). Também devem englobar o desenvolvimento ecológico, econômico e social, e contemplar as propriedades do solo, que podem ser usadas em resposta às mudanças dinâmicas em ecossistemas naturais e agrícolas (MARTINEZ-SALGADO et al., 2010).

No solo, fatores físicos, químicos e biológicos interagem de forma contínua, associadas aos diferentes processos que ali ocorrem, essenciais à sua vitalidade. Nos fatores biológicos, estão os microrganismos, responsáveis pelo funcionamento do solo através da participação nos processos de gênese, decomposição de resíduos orgânicos e formação da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes, e biorremediação de áreas contaminadas (MENDES et al., 2015).

Os indicadores biológicos, informam sobre os processos no solo mediados pelos organismos do solo, e são os mais informativos sobre as funções do solo (USDA, 2015). São sensíveis, e assim respondem rapidamente aos distúrbios e alterações no uso da terra (ZORNOZA et al., 2015). Esses indicadores abrangem medidas de macro e

microrganismos, suas atividades ou funções, podendo ser utilizados devido ao papel que desenvolvem na conservação do solo (MARTINEZ-SALGADO et al., 2010).

Apesar de ainda não ter uma metodologia geral para estabelecer um conjunto de indicadores (ZORNOZA et al., 2015), a escolha dos indicadores biológicos deve atender alguns critérios, ou seja, ser universais para os diferentes microbiomas do solo, apontar problemas na produção, monitorar mudanças na sustentabilidade do ecossistema, localizar os efeitos ecológicos decorrentes de mudanças no uso da terra, ou reduzir os riscos à saúde humana (ZORNOZA et al., 2015; SCHLOTTER, 2017).

Quanto às propriedades biológicas empregadas, podem ser citadas as medidas de abundância de diferentes organismos do solo, a biomassa microbiana, respiração basal, quociente metabólico, atividade enzimática do solo (DE-POLLI & PIMENTEL, 2005; ZHANG et al., 2011; MAIA & PARRON, 2015; KIANI et al., 2017), entre outros importantes tanto na ciclagem dos nutrientes, como também na estimativa da capacidade do solo para o crescimento vegetal (ARAÚJO et al., 2012).

Zornoza et al. (2015), realizou uma revisão de trabalhos para verificar quais os indicadores de qualidade do solo eram mais utilizados em sistemas florestais e agrícolas, e relatou que cerca de 50% dos autores associam propriedades biológicas, em grande parte carbono da biomassa microbiana (C-BMS) ou nitrogênio (NBM) e atividades enzimáticas, empregados provavelmente devido à sua alta sensibilidade.

Biomassa Microbiana (C-BMS) e quociente microbiano do solo (q_{Mic})

A biomassa microbiana do solo (C-BMS) é a fração viva da matéria orgânica do solo (ARAÚJO et al., 2012), constituído por fungos, bactérias, microfauna do solo e algas, considerada sensível as mudanças causadas no ambiente (GREGORICH et al., 1997; FIDELIS et al., 2016). É apontada como a maior reserva de nutrientes no solo, participando em processos bioquímicos, como o ciclo do C, do N, do P e do S no solo, e biológicos como a decomposição e o acúmulo de matéria orgânica (BARROS, 2013).

Interesses com a sustentabilidade da agricultura conduziram uma infinidade de estudos sobre a BM-S e seus parâmetros associados as características químicas e físicas do solo, produtividade da cultura e biodiversidade como indicadores da qualidade do solo. (KASCHUK et al., 2010). A C-BMS é um eficaz indicador da qualidade do solo (KIANI et al., 2017), influenciado por fatores ecológicos, como diversidade de plantas, conteúdo

de matéria orgânica do solo, umidade e mudanças climáticas (MARTINEZ-SALGADO et al., 2010).

Devido à sua alta taxa de rotatividade em relação à matéria orgânica do solo, a avaliação da C-BMS é útil para obter respostas rápidas sobre mudanças no uso do solo (GREGORICH et al., 1997), detectar variações causadas por cultivos ou por devastação de florestas, medir a regeneração dos solos após a remoção da camada superficial, e avaliar os efeitos de poluentes como metais pesados e pesticidas (FRIGHETTO, 2000).

A proporção presente de células microbianas vivas contendo carbono geralmente compreende de 1 a 5 % do carbono orgânico total, enquanto que para o nitrogênio compreende de 1 a 6 % do nitrogênio total do solo (JENKINSON & LADD, 1981). Desta forma, mensuração do C da biomassa microbiana (C-BMS) é um importante indicador de mudanças do solo (LOURENTE, 2007).

Dentre os métodos mais utilizados para a determinação do CBM-S, destacam-se os baseados na esterilização parcial de amostras de solos com clorofórmio: os de clorofórmio-fumigação-incubação - CFI (JENKINSON & POWLSON, 1976a,b) e a clorofórmio-fumigação extração - CFE (VANCE et al., 1987). O método da fumigação-extração tem sido mais utilizado devido à rápida avaliação em comparação com o método de fumigação-incubação, e a independência em relação ao estado fisiológico da população microbiana do solo. Além disso, o método tem sido recomendado para mensuração de C-BMS em solos do Brasil pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (ROSCOE et al., 2006).

A relação entre o carbono da biomassa microbiana (C-BMS) e o carbono orgânico total (COT) é determinado como quociente microbiano (q_{Mic}). Este é um índice usado para fornecer indicações da dinâmica da MOS (AQUINO, 2007), expressando a eficiência da biomassa microbiana em utilizar o carbono orgânico do solo. Este índice reflete processos importantes relacionados as adições e transformações da matéria orgânica, assim como a eficiência de conversão de C da MOS em C microbiano (SPARLING, 1992).

Maiores valores de q_{Mic} representa maior ciclagem de nutrientes e menor acúmulo de carbono, enquanto que menor q_{Mic} representa menor ciclagem de nutrientes e, maior acúmulo de carbono (ANDERSON & DOMSCH, 1989). Dessa forma, solos que

exibem valores maiores ou menores de q_{Mic} expressam a ocorrência de acúmulo ou perda de carbono do solo (JENKINSON & LADD, 1981).

Em ocasiões de estresse na biomassa microbiana, a capacidade de utilização de C é reduzida e o q_{Mic} tende a diminuir (WARDLE, 1992). Por outro lado, em ecossistemas estáveis, há uma tendência de aumento da atividade microbiana e, em consequência, o q_{Mic} tende a crescer até atingir um equilíbrio (POWLSON et al., 1987). Os maiores valores da proporção indicam a maior conversão de carbono orgânico total do solo em carbono da biomassa microbiana (MARCHIORI JÚNIOR & MELO, 2000). Desse modo o valor desta relação pode ser usado para avaliar o quanto um solo está degradado.

Respiração Microbiana (C-CO₂) e quociente metabólico microbiano (q_{CO_2}) do Solo

A respiração microbiana do solo, também denominada respiração basal do solo (C-CO₂), é definida como a produção de CO₂ ou o consumo de O₂, como resultado de processos metabólicos de organismos vivos do solo (DE-POLLI & PIMENTEL, 2005), refletindo a atividade biológica do solo (ARAÚJO et al., 2012).

Elevados índices de taxa respiratória podem ser desejáveis, considerando-se que pode indicar uma alta atividade da biomassa microbiana e rápida transformação da matéria orgânica em nutrientes para as plantas (SANTOS & MAIA, 2013). Além disso, a atividade respiratória elevada pode ser efeito tanto de um grande “pool” de substratos de C lábeis, onde a decomposição da matéria orgânica é intensa, ou como da rápida oxidação de um pequeno “pool” decorrente, por exemplo, da quebra de agregados do solo promovida pela aração, a qual expõe material orgânico que se encontrava protegido da ação microbiana (TÓTOLA & CHAER, 2002). Assim, elevada emissão de CO₂ pode indicar tanto um distúrbio ecológico como alta produtividade do ecossistema (ISLAM & WEIL, 2000), devendo ser estudada em cada contexto.

Anderson e Domsch (2010) testaram diferentes solos com diferentes níveis de biomassa microbiana, adicionando quantidades crescentes de glicose no solo, a fim de observar respostas no C-CO₂, e relataram que a cinética de saída de CO₂ foram semelhantes durante todo o período em que as amostras permaneceram incubadas, enquanto amostras com excesso de glicose mostrou aumento na taxa de produção de CO₂,

e inferem que esta taxa constante de produção de CO₂ reflete a demanda de energia para atividade metabólica.

O C-CO₂ possui relação com as condições abióticas do solo, entre elas a umidade, temperatura e aeração (DE-POLLI & PIMENTEL, 2005), e assim como a C-BMS, o C-CO₂ exerce uma influência importante no ciclo de nutrientes (MAHARANA & PATEL, 2013), sendo influenciada pelo carbono orgânico da biomassa microbiana do solo (MAIA & PARRON, 2015).

A metodologia de avaliação do C-CO₂ através da evolução de CO₂, consiste na incubação da amostra de solo com solução de hidróxido de sódio, para que o CO₂ liberado reaja com a solução de NaOH, formando uma solução composta de hidróxido de sódio e carbonato de sódio, que é precipitado pela adição de cloreto de bário, formando o carbonato de bário (DE-POLLI & PIMENTEL, 2005).

A interpretação dos resultados da avaliação da respiração microbiana pode se tornar difícil em alguns casos, devendo ser realizada com prudência, pois pode variar conforme tipo de solo, condições climáticas e cobertura vegetal. A associação de outras medidas da atividade microbiológica do solo é necessária para obtenção de resultados mais completos sobre a real condição do sistema em estudo.

Assim, o quociente metabólico microbiano (qCO_2), é a relação entre a biomassa microbiana e a respiração microbiana do solo, indica o quanto de CO₂ é liberado por unidade de biomassa, e tem sido utilizado para avaliar efeitos ambientais e antropogênicos sobre a C-BMS (ZHANG et al., 2011), e pode ser utilizado associado com outros indicadores biológicos, já que reflete a eficácia da comunidade microbiana em termos de utilização de energia (BOYRAHMADI & RAIESI, 2018), porque o carbono respirado por unidade de biomassa (qCO_2), reflete a quantidade de carbono necessária por biomassa unitária para manter o nível de evolução de CO₂ (ANDERSON & DOMSCH, 2010).

O qCO_2 é dependente da presença ou ausência de espécies de plantas (CHENG et al., 2013). Boyrahmadi e Raiesi (2018) constataram que solos salinos cultivados tem maiores índices de biomassa microbiana, e menores índices de qCO_2 do que os solos não cultivados, demonstrando a importância da adição de C da raiz como substrato para diminuir estresse microbiano.

Maior biomassa microbiana, maior respiração microbiana e menores coeficientes metabólicos microbianos indicam que, a taxa de renovação é mais rápida no ciclo do C, N e P, o que pode acelerar a fertilidade do solo ao longo do tempo (BOYRAHMADI & RAIESI, 2018). A facilidade de sua determinação leva sua interpretação incorreta, e as vezes, um $q\text{CO}_2$ alto é explicado como uma alta atividade microbiana, no entanto, em termos ecológicos, um alto $q\text{CO}_2$ reflete uma alta demanda de carbono para manutenção, e se o sistema do solo não puder reabastecer o carbono que é perdido através da respiração, a biomassa microbiana tende a diminuir (ANDERSON & DOMSCH, 2010).

Enzimas do solo

Ao realizar a decomposição da matéria orgânica do solo, os microrganismos produzem enzimas que catalisam reações necessárias para atividades como processos metabólicos, decomposição de resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes (ZHANG et al., 2011), formação de matéria orgânica, estruturação do solo, fixação de nitrogênio, desintoxicação de xenobióticos, e também participam de processos de nitrificação e desnitrificação (DICK, 1997; BALOTA et al., 2011). Portanto, as atividades enzimáticas estão significativamente correlacionadas com a matéria orgânica do solo e com o ciclo do C, N, P e do S (KARACA et al., 2011).

As enzimas do solo podem estar localizadas no interior da célula ou ligadas externamente à membrana celular, podem estar na solução do solo, adsorvidas à superfície de minerais de argila ou substâncias húmicas (BALOTA et al., 2013). À vista disso, as enzimas são classificadas quanto sua localização em endocelular ou intracelular, quando presentes no interior dos organismos, e extracelular após a lise celular, na qual o conteúdo celular é secretado das raízes ou microrganismos para o solo (KUNITO et al., 2001; BALOTA et al., 2013; GIANFREDA, 2015;).

Fatores como exsudatos radiculares, CO_2 atmosférico, crescimento de plantas, manejo do solo, temperatura e aridez, salinidade, interações entre microrganismo e vegetal, e contaminantes afetam a atividade e produção de enzimas da rizosfera (GIANFREDA, 2015). Dessa forma, as enzimas do solo são usadas como indicadores de qualidade em função de sua relação com a biologia do solo, facilidade de medição e resposta rápida a mudanças de manejo do solo (BANDICK & DICK, 1999; BALOTA et al., 2004; KARACA et al., 2011; NANNIPIERI, 2018). São úteis para descrever e fazer

previsões sobre a função de um ecossistema, qualidade e interações entre subsistemas (DICK & TABATABAI, 1992).

Dentre as enzimas mais utilizadas como indicadoras da qualidade do solo estão a arilsulfatase e a β -glicosidase (DONI et al., 2012). A arilsulfatase é uma enzima extracelular (KARACA et al., 2011), porém ela pode ser encontrada tanto no interior como no exterior da célula (MARGON & FORNASIER, 2008). Estão envolvidas na hidrólise de ésteres de arilsulfato por fissão de oxigênio-enxofre os quais correspondem a 40-70% do enxofre total do solo (MELO et al., 2010; KARACA et al., 2011). Normalmente, sua ocorrência nos solos é correlacionada com a biomassa microbiana e o nível de imobilização do S (KLOSE & TABATABAI, 1999).

As β -glicosidase são enzimas envolvidas na sacarificação da celulose (KARACA et al., 2011). Participam da degradação de componentes de C, hidrolisam celulose e outros polímeros de carboidratos (CUNHA-QUEDA et al., 2007), e liberam importantes fontes de energia para os microorganismos (BANDICK & DICK, 1999). A atividade da β -glicosidase tem sido utilizada para avaliar a qualidade do solo sob diferentes práticas de manejo (DONI et al., 2012).

As enzimas do solo vêm sendo usadas como indicadores de qualidade do solo em várias atribuições de usos do solo e práticas agrícolas, como em sistemas de rotação de cultura (BANDICK & DICK, 1999; BALOTA et al., 2004; DODOR & TABATABAI 2005, 2003; BENINTENDE et al., 2008;), com irrigação (ZHANG & WANG, 2006) com aplicação de dejetos de suínos (BALOTA et al., 2011), em situações de incêndios florestais (FIORETTO et al. 2005; ZHANG et al. 2005;), e diferentes sistemas de manejo e agricultura (GAJDA & MARTYNIUK 2005; BENITEZ et al., 2006; MONOKROUSOS et al., 2006; FLIEBBACH et al., 2007; MELERO et al., 2008; MINA et al., 2008), mostrando-se eficientes indicadores de mudanças no solo.

O uso da avaliação da atividade de enzimas do solo como bioindicadores de qualidade, apresenta diversas vantagens em relação ao uso os indicadores frequentemente usados, como o carbono da biomassa microbiana (C-BMS) e respiração microbiana do solo (C-CO₂). Diferente desses indicadores, o solo coletado para as análises enzimática não precisa ser rapidamente refrigerado, podendo ser usado terra fina seca ao ar (TFSA), a amostragem do solo pode ser realizada pós-colheita, além do baixo custo de análise e

possibilidade de reproducibilidade da metodologia, abrindo caminhos para a pesquisa científica, e avaliação de suas áreas pelos produtores rurais (MENDES et al., 2019).

Recentemente, foi desenvolvido por uma instituição de pesquisa brasileira, uma tabela para interpretação dos resultados das análises das enzimas β -glicosidase e sulfatase do solo (MENDES et al., 2019). Os autores se basearam em experimento de calibração de grão, em solos de textura argilosa, dessa forma é possível fazer a comparação dos resultados das análises enzimática com uma tabela classificada em baixo, moderado e adequado teores da atividade dessas enzimas, facilitando o entendimento dos resultados por estudantes e produtores rurais.

Estrutura do Solo e Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES)

A qualidade física do solo é importante para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, visto que as propriedades físicas possuem relação fundamental com o suporte ao crescimento radicular, taxa de infiltração de água no solo, escoamento superficial, erosão, armazenagem e suprimento de água, nutrientes, trocas gasosas e atividade biológica do solo. Em geral, os principais indicadores físicos aplicados são textura, espessura do horizonte superficial, densidade do solo, porosidade, resistência à penetração, condutividade hidráulica, capacidade de retenção d'água, estrutura e estabilidade de agregados (ARAÚJO et al., 2012).

A estrutura do solo é um atributo importante e necessário a ser monitorado e estudado nas avaliações de manejo do solo e sistemas de produção agropecuário (RALISCH et al., 2017). Esse parâmetro refere-se a organização e arranjo das partículas sólidas e poros do solo, produzindo agregados do solo, os quais são separados entre si por superfícies de fraqueza ou apenas superpostos sem conformação definida (ARAÚJO et al., 2012; SANTOS et al., 2013). A agregação é resultado da interação entre fatores ambientais, de manejo do solo, influência da planta e propriedades do solo, como composição mineral, textura, carbono orgânico do solo, processos pedogenéticos, atividade microbiana, capacidade de troca catiônica, reserva nutricional e disponibilidade de água, e é expressa em termos de estabilidade de agregados (SÁ et al., 2000; BRONICK & LAL, 2005).

Existem diversas formas de se avaliar a estrutura do solo, usando parâmetros relacionados à forma e a estabilidade da estrutura do solo (ALBUQUERQUE et al., 1995). A estabilidade da estrutura está relacionada com o teor de MOS, logo quanto maior

a quantidade de material orgânico do solo melhor será a estabilidade dos agregados que estão sendo formados (COSTA et al., 2004).

A espessura do solo, principalmente do horizonte superficial, tem sido sugerida como um indicador da qualidade do solo, visto que nesta faixa, é onde encontram-se a maior atividade da biota do solo, propício para ciclagem de MOS e nutrientes (ARAÚJO et al., 2012). Dessa forma, a avaliação da estrutura do solo nas primeiras camadas pode ser um método eficiente pois há uma relação entre a produtividade agrícola e a profundidade do solo, considerando sua importância na armazenagem de água e suprimento de nutrientes para as plantas.

Através da avaliação da estrutura do solo, podem ser corrigidos sinais de degradação do solo, e garantir melhor qualidade física do solo, resulta em melhoria das condições biológicas e químicas, pois esses aspectos de qualidade do solo são interdependentes (GENNARO et al., 2015; DEXTER, 2004). No entanto, a estrutura do solo tem sido avaliada por meio de métodos quantitativos, em laboratórios, com uso de materiais e reagentes de alto custo financeiro, tornando-se de difícil aplicação e interpretação em condições de campo. Dessa forma, foi desenvolvido por instituições brasileiras, um método visual de análise da estrutura da camada superficial do solo, denominado “Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo” (DRES) (RALISCH et al., 2017).

Esse método surgiu como uma alternativa de se avaliar a estrutura do solo através de um processo de baixo custo e trata-se de um processo que caracteriza as camadas superficiais do solo nos primeiros 25 cm, a partir de avaliação visual do tamanho dos torrões ou agregados bem como outros atributos presentes, tais como: atividade biológica, formato dos agregados, presença de faces retas, tamanho dos torrões, entre outros (RALISCH et al., 2017).

O DRES, possibilita a técnicos e produtores rurais um reconhecimento rápido e fácil das condições estruturais do solo diferentes sistemas de manejo, além disso, é uma metodologia pouco evasiva. Com esse método é possível identificar áreas que necessitam de estudos mais detalhados ou uma readequação de uso do solo.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, M. I. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. 2008. 89p Viçosa: UFV, 2008. 89p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2008.

ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; FIORIN, J. E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C.; FORTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 115-119, 1995.

ALVARENGA, R. C., PORFIRIO-DA-SILVA, V., GONTIJO NETO, M. M., VIANA, M. C. M., VILELA, L. Sistema Integração lavoura-Pecuária-Floresta: condicionamento do solo e intensificação da produção de lavouras. **Informe Agropecuário**, v. 31, n. 257, p. 59-67, 2010.

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic in arable soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 21, n. 4, p. 471-479, 1989.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Soil microbial biomass: The eco-physiological approach. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 42, n. 12, p. 2039-2043, 2010.

AQUINO, S. S. **Atributos microbiológicos em sistemas de manejos do solo na integração lavoura-pecuária**. 2007, 76 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira-SP, 2007.

ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; MENDONÇA, E. S.; SILVA, I. R.; OLIVEIRA, E. K. Impacto da conversão floresta-pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. **Acta amazônica**, Manaus, v. 41, n. 1, 2011.

ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; MARTINS, S. C.; GROppo, J. D.; SALGADO, P. R.; EVANGELISTA, B.; VASCONCELLOS, E.; SANO, E. E.; PAVÃO, E.; LUNA, R.; CAMARGO, P. B.; MARTINELLI, L. A. Changes in soil carbon stocks in Brazil due to land use: paired site comparisons and a regional pasture soil survey. **Biogeosciences**, Germany, v. 10, n. 10, p. 6141-6160, 2013.

ASSIS, P. C. R.; STONE, L. F.; MEDEIROS, J. C.; MADARI, B. E.; OLIVEIRA, J. M.; WRUCK, F. J. Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 4, p. 309-316, 2015.

BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 53, n. 3-4, p. 215-230, 2000.

BALOTA, E. L.; KANASHIRO, M.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. A.; DICK, R. P. Soil enzyme activities under long-term tillage and crop rotations systems in subtropical agro-ecosystems. **Brazilian Journal of Microbiology**, Rio de Janeiro, v. 35, n. 4, p. 300-306, 2004.

BALOTA, E. L.; MACHINESKI, O.; TRUBER, P. V. Soil enzyme activities under pig slurry addition and different tillage systems. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 4, p. 729-737, 2011.

- BALOTA, E. L.; NOGUEIRA, M. A.; MENDES, I. C.; HUNGRIA, M.; FAGOTTI, D. S. L.; MELO, G. M. P.; SOUZA, R. C.; MELO, W. J. Enzimas e seu papel na Qualidade do Solo. In: ARAÚJO, A. P.; ALVES, B. J. R. (Eds.). **Tópicos em Ciência do Solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8 p. 221-278, 2013.
- BANDICK, A. K.; DICK, R. P. Field management effects on soil enzyme activities. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 31, n. 11, p. 1471–1479, 1999.
- BARROS, J. D. S. Contribuições da matéria orgânica do solo para mitigar as emissões agrícolas de gases de efeito estufa. **POLÊMICA**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p. 341-351, 2013.
- 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.
- BENINTENDE S.M.; BENINTENDE M. C.; STERREN M. A.; DE BATTISTA J. J. Soil microbiological indicators of soil quality in four rice rotations systems. **Ecological Indicators**, New York, v. 8, n. 5, p. 704-708, 2008.
- BENITEZ, E.; NOGALES R.; COMPOS, M.; RUANO, F. Biochemical variability of olive-orchard soils under different management systems. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, 32, n. 2, p. 221–231, 2006.
- BOYRAHMADI, M.; RAIESI, F. Plant roots and species moderate the salinity effect on microbial respiration, biomass, and enzyme activities in a sandy clay soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 54, n. 4, p. 509–521, 2018.
- BRAZ, S. P.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; JANTALIA, C. P.; GUIMARÃES, A. P.; SANTOS, C. A.; SANTOS, S. C.; PINHEIRO, É. F. M.; BODDEY, R. M. Soil Carbon Stocks under Productive and Degraded Pastures in the Brazilian Cerrado. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 77, n. 3, p. 914, 2013.
- BRONICK, C.J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v.124, n.1, p.3-22, 2005.
- CARVALHO, J. S.; KUNDE, R. J.; STÖCKER, C. M.; LIMA, A.C.R.; SILVA, J. L. S. Evolução de atributos físicos, químicos e biológicos em solo hidromórfico sob sistemas de integração lavoura-pecuária no bioma Pampa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1131-1139, 2016.
- CHENG, F.; PENG, X.; ZHAO, P.; YUAN, J.; ZHONG, C.; CHENG, Y.; ZHANG, S. Soil Microbial Biomass, Basal Respiration and Enzyme Activity of Main Forest Types in the Qinling Mountains. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 8, n. 6, p. 67353, 2013.
- CHERUBIN, M. R.; EITELWEIN, M. T.; FABBRIS, C.; WEIRICH, S. W.; DA SILVA, R. F.; DA SILVA, V. R.; BASSO, C. J. Physical, chemical, and biological quality in an oxisol under different tillage and fertilizer sources. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 39, n. 2, p. 615-625, 2015.
- CONANT, R. T.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E. T. Grassland management and conversion into grassland: effects on soil carbon. **Ecological applications**, Washington, v. 11, n. 2, p. 343-355, 2001.

- COSTA, F. Z.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; FONTOURA, S. M. V. Aumento de matéria orgânica num Latossolo Bruno em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 587-589, 2004.
- CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; ALVARENGA, R. C.; SANTANA, D. P. Plantio direto e sustentabilidade do sistema agrícola. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 13-24, 2001.
- CUNHA-QUEDA, A. C.; RIBEIRO, H. M.; RAMOS, A.; CABRAL, F. Study of biochemical and microbiological parameters during composting of pine and eucalyptus bark. **Bioresource Technology**, Barking, v. 98, p. 3213-3220, 2007.
- DADALTO, J. P.; FERNANDES, H. C.; TEIXEIRA, M. M.; CECON, P. R.; MATOS, A. T. Sistema de preparo do solo e sua influência na atividade microbiana. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 3, p. 506-513, 2015.
- DE-POLLI, H.; PIMENTEL, M. S. Indicadores de qualidade do solo. In: AQUINO, A.M.; ASSIS, R.L. **Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p. 17-28.
- DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, n. 3-4, p. 201-214, jun. 2004.
- DICK, R. P. Soil enzyme activities as integrative indicators of soil health. In: PANKHURST, C. E.; DOUBE, B. M.; GUPTA, V. V. S. R. (eds) **Biological indicators of soil health**. CABI, Wallingford, Oxfordshire, 1997, p. 121-156.
- DICK, W. A., TABATABAI, M. A., 1992. Significance and potential uses of soil enzymes. In: METTING, F. B. (Eds.), **Soil Microbial Ecology**. Marcel Dekker, Hong Kong, 1992, p. 95-118.
- DONI, S.; MACCI, C.; CHEN, H.; MASCIANDARO, G.; CECCANTI, B. Isoelectric focusing of β -glucosidase humic-bound activity in semi-arid Mediterranean soils under management practices. **Biology and fertility of soils**, Berlin, v. 48, n. 2, p. 183-190, 2012.
- DORAN, J. W.; SARANTONIO, M.; LEIBIG, M. Soil health and sustainability. **Advances in Agronomy**, v. 56, p. 1-54, 1996.
- 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.
- DURIGAN, M. R.; CHERUBIN, M. R.; CAMARGO, P. B.; FERREIRA, J. N.; BERENGUER, E.; GARDNER, T. A.; BARLOW, J.; CARLOS DIAS, T. S.; SIGNOR, D.; JUNIOR, R. C. O.; CERRI, C. E. P. Soil Organic Matter Responses to Anthropogenic Forest Disturbance and Land Use Change in the Eastern Brazilian Amazon. **Sustainability**, Basel, v. 9, n. 3, p. 379, 2017.
- FERREIRA, A. C. C.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; EISENHAUER, N. Land-Use Type Effects on Soil Organic Carbon and Microbial Properties in a Semi-arid Region of Northeast Brazil. **Land Degradation & Development**, Chichester, v. 27, n. 2, p. 171-178, 2016.
- FIDELIS, R. R.; ALEXANDRINO, C. M. S.; SILVA, D. B.; SUGAI M.A.A.; SILVA, R. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo em culturas intercalares ao pinhão

manso. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, Nata, v. 9, n. 3, p. 87-95, 2016.

FIORETTO, A.; PAPA, S.; PELLEGRINO, A. Effects of fire on soil respiration, ATP content and enzyme activities in Mediterranean maquis. **Applied Vegetation Science**, Uppsala, v. 8, n. 1, p. 13-20, 2005.

FLIEBBACH, A.; OBERHOLZER, H.; GURNST, L.; MADER, P. Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming., **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 118, n. 1-4, p. 273–284, 2007.

FRIGHETTO, R. T. S. Análise da biomassa microbiana em carbono: método de fumigação – extração. In: FRIGHETTO, R.T.S.; VALARINI, P.J. (Coords.). **Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo: manual técnico**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000, 198p.

GAJDA, A.; MARTYNIUK, S. Microbial biomass C and N and activity of enzymes in soil under winter wheat grown in different crop management systems. **Polish Journal Environmental Studies**, Olsztyn, v. 14, n. 2, p. 159-163, 2005.

GENNARO, L. A.; SOUZA, Z. M.; SILVA, L. F. S.; COOPER, M.; CAMPOS, M. C. C. Estrutura do solo sob feijão irrigado e diferentes manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas v. 39, n. 2, p. 608-614, 2015.

GIANFREDA, L. Enzymes of importance to rhizosphere processes. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Temuco, v. 15, n. 2, p. 283-306, 2015.

GREGORICH E. G.; CARTER M.R.; DORAN J. W.; PANKHURST C. E.; DWYER L. M. Biological attributes of soil quality. In: Gregorich E.G. and Carter M.R. (eds), **Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health**. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, p. 81–113, 1997.

GREGORICH, E.G., CARTER, M.R., ANGERS, D.A., MONREAL, CM. AND ELLERT, B.H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. **Canadian Journal Of Soil Science**, Ottawa, v. 74, p. 367-385, 1994.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture, Ecosystems e Environment**, Amsterdam, v.79, n.1, p.9-16, 2000.

JENKINSON, D.S.; POWLSON, D.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil - I. Fumigation with chloroform. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 8, p. 167-177, 1976b.

JENKINSON, D.S.; LADD, J.N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E.A.; LADD, J.N. (Eds.). **Soil biology and biochemistry**. New York, 1981, v. 13, n. 5, p. 415-417.

JENKINSON, D.S.; POWLSON, D.S. The effect of biocidal treatment on metabolism in soil. V. A method of measuring soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 8, p. 209-213, 1976a.

JOVANOVIC, BOBAN. **Dinâmica Da Matéria Orgânica Na Fase Inicial De Implementação De Um Sistema De Integração Lavoura-Pecuária-Floresta**. Brasília,

2017. 68 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Brasília/ Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Brasília, 2017.

KARACA, A.; CETIN, S. C.; TURGA, Y. O. C.; KIZILKAYA, R. Soil enzymes as indication of soil quality. In: SHUKLA G.; VARMA A. (eds.): **Soil Enzymology**. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2011, p. 119–148.

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. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 61, 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. (Editors), **Defining Soil Quality for a Sustainable Environment**. SSSA Special Publication no.35, Soil Science Society of America, Madison, WI. 1994, p. 53-72.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: Lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 42, n. 1, p. 1–13, 2010.

KIANI, M.; HERNANDEZ-RAMIREZ, G.; QUIDEAU, S. SMITH, E.; JANZEN, H.; LARNEY, F. J.; PUURVEEN, D. Quantifying sensitive soil quality indicators across contrasting long-term land management systems: Crop rotations and nutrient regimes. **Agriculture, Ecosystems and Environment, Amsterdam**, v. 248, p. 123-135, 2017.

KLOSE, S.; TABATABAI, M.A. Urease activity of microbial biomass in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 31, n. 2, p. 205-211, 1999.

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H. Implantação, condução e resultados obtidos com o sistema Santa Fé. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (Ed.). **Integração Lavoura Pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 407-442.

KUNITO, T.; SAEKI, K.; GOTO, S.; HAYASHI, H.; OYAIZU, H.; MATSUMOTO, S. Copper and zinc fractions affecting microorganisms in long-term sludge-amended soils. **Bioresource technology**, Barking, v. 79, p. 135-146, 2001.

LAISHRAM, J.; SAXENA, K. G.; MAIKHURI, R. K.; RAO, K. S. Soil quality and soil health: a review. **International journal of ecology and environmental sciences**, Jaipur, v. 38, n. 1, p. 19-37, 2012.

LEITE, L. F. C.; GALVÃO, S. R. S.; HOLANDA NETO, M. R.; ARAÚJO, F. S.; IWATA, B. F. Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n.12, p.1273-1280, 2010.

LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A.; SILVA, J. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado em plantio direto. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p.16-23, 2013.

LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; SILVEIRA, A. O. D.; MARTINS, A. F.; SELBACH, P. A. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 36, n. 1, p. 33-43, 2012.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Carbon and Nitrogen Content and Stock in No-Tillage and Crop-livestock Integration Systems in the Cerrado of Goiás State, Brazil. **Journal of Agricultural Science**, Belihuloya, v. 4, n. 8, p. 96-105, 2012.

LOURENTE, E. R. P. Manejo do solo e suas influências em atributos químicos e microbiológicos do solo. 2007. 62p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS, 2007.

MAHARANA, J. K.; PATEL, A. K. Microbial biomass, microbial respiration and organic carbon indicates nutrient cycling in a chronosequence coal mine overburden spoil. **International Journal of Environmental Sciences**, India, v. 4, n. 2, p. 171-184, 2013.

MAIA, C. M. B. F.; PARRON, L. M. Matéria orgânica como indicador da qualidade do solo e da prestação de serviços ambientais. In book: **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Edition: 1st, Chapter: 8, Publisher: Embrapa, Editors: Lucília Maria Parron et al, 2015, p.101-109.

MAIA, S. M. F.; OGLE, S. M.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C. Effect of grassland management on soil carbon sequestration in Rondônia and Mato Grosso states, Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 149, n. 1, p. 84-91, 2009.

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semi-árido cearense. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 837-848, 2006.

MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M.; SANTOS JUNIOR, J. D.G.; SÁ, M. A. C.; VILELA, L.; BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n. 6, p. 873-882, 2007.

MARCHIORI JÚNIOR, M.; MELO W. J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solos de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1177-1182, 2000.

MARGON, A.; FORNASIER, F. Determining soil enzyme location and related kinetics using rapid fumigation and high yield extraction. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 40, n. 9, p. 2178-2181, 2008.

MARTINEZ-SALGADO, M. M.; GUTIÉRREZ-ROMERO, V.; JANNSENS, M.; ORTEGA-BLU, R. Biological soil quality indicators: a review. In: A. Mendez-Vilas (ed.), **Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology**. Spain: Formatex Research Center, 2010, p. 319-328.

MARZAIOLI, R.; D'ASCOLI, R.; DE PASCALE, R. A.; RUTIGLIANO, F. A. Soil quality in a Mediterranean area of Southern Italy as related to different land use types. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 44, n. 3, p. 205-212, 2010.

MELERO, S.; MADEJON, E.; HERENCIA, J. F.; RUIZ, J. C. Effect of implementing organic farming on chemical and biochemical properties of an irrigated loam soil. **Agronomy Journal**, Madison, v. 100, n. 1, p. 136-144, 2008.

MELO, G. B.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A.; GUARESCHI, R. F.; SOARES, P. F. C. Estoques e frações da matéria orgânica do solo sob os sistemas plantio direto e

convencional de repolho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1511-1519, 2016.

MELO, W. J.; MELO, G. P.; ARAÚJO, A. S. F.; MELO, V. P. Avaliação da atividade enzimática em amostras de solo. In: FIGUEIREDO, M. B. V.; BURITY, H. A.; OLIVEIRA, J. P.; SANTOS, C. E. R. S.; STANFORD, N. P. (Ed.) **Biotecnologia aplicada à agricultura**: textos de apoio e protocolos experimentais. Brasília: Embrapa, 2010. v. 1, p. 153-187.

MENDES, I. de, C.; SOUSA, D. M. G. de; JUNIOR, F. B. R. Bioindicadores de qualidade de solo: dos laboratórios de pesquisa para o campo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 32, n. 1/2, p. 191-209, 2015.

MINA, B. L.; SAHA, S.; KUMAR, N.; SRIVASTVA, A. K.; GUPTA, H. S. Changes in soil nutrient content and enzymatic activity under conventional and zero-tillage practices in an Indian sandy clay loam soil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Boca Raton, v. 82, n. 3, p. 273–281, 2008.

MONOKROUSOS, N.; PAPTAEODOROU, E. M.; DIAMANTOPOULOS, J. D.; STOMOY, G. P. (2006). Soil quality variables in organically and conventionally cultivated field sites. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 38, n. 6, p. 1282-1289, 2006.

NADAL-ROMERO, E.; CAMMERAAT, E.; PÉREZ-CARDIEL, E.; LASANTA, T. How do soil organic carbon stocks change after cropland abandonment in Mediterranean humid mountain areas? **Science of the Total Environment**, v. 566-567, n.1, p. 741-752, 2016.

NANNIPIERI, P.; CEPEDA, C. T.; DICK, R. P. Soil enzyme activity: a brief history and biochemistry as a basis for appropriate interpretations and meta-analysis. **Biology and fertility of soils**, Berlin, v. 54, n. 1, p. 11–19, 2018.

NASCENTE, A. S.; SILVEIRA, P. M.; JUNIOR, M. L.; SANTOS, G. G.; CUNHA, P. C. R. Atributos químicos de latossolo sob plantio direto afetados pelo manejo do solo e rotação de culturas. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 4, p. 153-163, 2014.

OLIVEIRA, D. C. **Potencial de sequestro de carbono no solo e dinâmica da matéria orgânica em pastagens degradadas no Brasil**. 2018. 82 p. Tese (Doutorado em Ciências – Solos e Nutrição de Plantas) -, USP / Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba-SP, 2018.

OLIVEIRA, S. P.; CÂNDIDO, M. J.; WEBER, O. B.; XAVIER, F. A. S.; ESCOBAR, M. E. O.; OLIVEIRA, T. S. Conversion of forest into irrigated pasture I. Changes in the chemical and biological properties of the soil. **Catena**, Berlin, v. 137, n.1, p. 508-516, 2016.

ONU; **United nations, department of economic and social affairs**. The United Nations, Population Division, Population Estimates and Projections Section, 2012.

PORTILHO, I. I. R.; CREPALDI, R. A.; BORGES, C. D.; SILVA, R. F.; SALTON, J. C.; MERCANTE, F. M. Fauna invertebrada e atributos físicos e químicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n.10, p.1310-1320, 2011.

- POWLSON, D.S.; BROOKES, P.C.K.; CHRISTENSEN, B.T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total organic matter due to straw incorporation. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 19, n. 2, p.159-164, 1987.
- RALISCH, R.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; TOMAZI, M.; HERNANI, L. C.; MELO, A. DA S.; SANTI, A.; MARTINS, A. L. DA S.; BONA, F. D. de. **Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo – DRES**. 64 p. il. – (Documentos / Embrapa Soja, ISSN 2176-2937; 390), 2017.
- ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; MENDES, I. C.; JÚNIOR, F. B. R.; SANTOS, J. C. F.; HUNGRIA, M. Biomassa Microbiana do Solo: Fração mais Ativa da Matéria Orgânica. pg 164. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006, p. 164.
- SA, M. A. C.; LIMA, J. M.; SILVA, M. L. N.; DIAS JUNIOR, M. S. Comparison of methods for aggregate stability studies in soils. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n.9, p. 1825-1834, 2000.
- SAATH, K. C. O.; FACHINELLO, A. L. Crescimento da Demanda Mundial de Alimentos e Restrições do Fator Terra no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 56 n. 2, p.195-212, 2018.
- SALTON, J. C. **Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical**. 2005. 158 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, 2005.
- SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, n. 1, p. 11-21, 2008.
- SALTON, J. C.; FABRÍCIO, A. M.; HERNANI, L. C. Integração lavoura-pecuária: alternativas de rotação de culturas. In: ENCONTRO REGIONAL DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, Dourados, 2001. **Anais**. Dourados, UFMS/Embrapa-CNPAO, 2001. p.31-32.
- SANTOS, L. T.; MARRA, M. D.; TRUMBORE, S.; CAMARGO, P. B., NEGRÓN-JUÁREZ, R. I.; LIMA, A. J. N.; RIBEIRO, G. H. P. M.; SANTOS, J.; HIGUCHI, N. Windthrows increase soil carbon stocks in a Central Amazon forest. **Biogeosciences**, Germany, v. 13, n. 4, p. 1299-1308, 2016.
- SANTOS, R. D. dos; LEMOS, R. C. de; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C., SHIMIZU, S.H. dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 6. ed. rev. e ampl. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Editora da UFV; Rio de Janeiro: Embrapa Solos/Editora da UFRRJ, 2013.100p.
- SANTOS, V. M.; MAIA, L. C. BIOINDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, Recife, v. 10, p. 195-223, 2013.
- SCHLOTTER, M.; NANNIPIERI, P.; SORENSEN, S. J.; VAN ELSAS, J. D. Microbial indicators for soil quality. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 54, n. 1, p. 1-10, 2017.

SOUZA, C. A.; JUNIOR, F. B. dos R.; MENDES, I. de C.; LEMAINSKI, J.; SILVA, J. E. da. Lodo de esgoto em atributos biológicos do solo e na nodulação e produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 10, p. 1319-1327, 2009.

SPARLING, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indication of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v. 30, n. 2, p. 195-207, 1992.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. **Tópicos Especiais em Ciências do Solo**, v. 2, n. 1, p. 196-275, 2002.

USDA, Natural Resources Conservation Service. **Soil Quality Indicators. Biological Indicators and Soil Functions**, 2015.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre a qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 33, 4, p. 743-755, 2009.

WARDLE, D. A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. **Biological Reviews**, Cambridge, v. 67, n. 3, p. 321-358, 1992.

ZHANG, C.; LIU, G.; XUE, S.; SONG, Z. Rhizosphere soil microbial activity under different vegetation types on the Loess Plateau, China. **Geoderma**, Amsterdam, v. 161 n. 3-4, p. 115-125, 2011.

ZHANG, Y. L.; WANG, Y. S. Soil enzyme activities with greenhouse subsurface irrigation. **Pedosphere**, Beijing, v. 16, n. 4, p. 512-518, 2006.

ZHANG, Y. M.; WU, N.; ZHOU, G. Y.; BAO, W. K. Changes in enzyme activities of spruce (*Picea balfouriana*) forest soil as related to burning in the eastern Qinghai-Tibetan plateau. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 30, n. 3, p. 215-225, 2005.

ZORNOZA, R.; ACOSTA, J. A.; BASTIDA, F.; DOMÍNGUEZ, S. G.; TOLEDO, D. M.; FAZ, A. Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health, **SOIL**, Germany, v. 1, n. 1, p. 173-185, 2015.

CAPÍTULO 2 - QUALIDADE DO SOLO POR MEIO DE BIOANÁLISE E DRES, EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO SOB LATOSSOLOS VERMELHOS DE MATO GROSSO DO SUL

RESUMO

A avaliação da qualidade dos sistemas de produção e manejo do solo é importante para apoiar e direcionar as tomadas de decisões, a fim de garantir a manutenção e aumento da capacidade produtiva em áreas agrícolas. Os indicadores microbiológicos e estrutura do solo trazem resultados satisfatório para a avaliação dos atributos edáficos, pois são sensíveis as alterações no solo, sendo os primeiros a apresentarem uma resposta. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a qualidade do solo através dos indicadores microbiológicos e estrutura do solo, em sistemas simples e integrados de manejo do solo. Foram estudadas duas áreas com experimentos de longa duração sob Latossolo Vermelho Distrófico, com 45% de argila no sistema implantado em 2009 no município de Ponta Porã, MS, e com 18% de argila no sistema implantado em 2014 no município de Naviraí, MS. Em ambas áreas, foram avaliados os sistemas de produção: Sistema de Plantio Direto (SPD), Sistema de Preparo Convencional (SPC), floresta de eucalipto (FL), Integração Lavoura-Pecuária em fase de lavoura e pastagem (ILP_p; ILP_lav) e Lavoura-Pecuária-floresta em fase de lavoura e pastagem (ILPF_p; ILPF_lav), Pastagem Permanente (PP), Vegetação Nativa (VN), e uma pastagem referência (PR) somente no experimento de Naviraí. Para as análises microbiológicas, o solo foi coletado de 0 a 10 cm de profundidade, em seis pontos por parcela para compor uma amostra composta. Para a análise da estrutura do solo, foram abertas seis minitrincheiras em cada tratamento, de onde foram retirados um bloco de solo com espessura de 10 cm, 20 cm de largura e 25 cm de profundidade, armazenado em bandeja de plástico para posterior análise visual. Foram determinados o carbono da biomassa microbiana (C-BMS), respiração microbiana (C-CO₂), quociente metabólico (q_{CO_2}), quociente microbiano (q_{Mic}), atividade das enzimas Sulfatase e β -glicosidase, e análise da estrutura do solo pelo método do diagnóstico rápido da estrutura do solo (DRES). Os dados foram submetidos a análise de variância e analisados por meio de contraste ortogonais e análise de Componentes Principais (PCA). Em ambos experimentos, a VN apresentou melhor qualidade do solo em relação aos tratamentos agropecuários, o que já era esperado devido ao equilíbrio ambiental nesse ambiente natural. Considerando os indicadores avaliados, as áreas com

pastagem (ILP_p, ILPF_p e PP) apresentaram melhor qualidade do solo em relação aos tratamentos com uso sob lavouras (SPD, SPC, ILP_lav e ILPF_lav). Dentre as pastagens, o pasto permanente (PP) apresentou maiores índices nos indicadores em relação aos pastos conduzidos em sistemas integrados (ILP_p, ILPF_p). Houve efeito da arborização nas pastagens, em que os pasto sem a presença de árvores permitiram as maiores atividades nos indicadores estudados. As lavouras em sistemas integrados de ILP e ILPF foram melhores em relação as lavouras conduzidas em sistemas simples de SPD e SPC. Dentre as lavouras simples, foi possível observar que o SPD apresentou maiores atividades das enzimas β -glicosidase, sulfatase e qualidade estrutural do solo em relação ao SPC. No geral, os sistemas conduzidos em ILP e PP apresentaram maior capacidade de suporte de manter uma elevada atividade microbiana e estrutura do solo. A atividade das enzimas, com destaque para sulfatase, foram os indicadores mais sensíveis as mudanças de manejo do solo. O DRES foi eficiente e permitiu evidenciar as melhorias na estrutura do solo com uso de sistemas de manejo mais complexos.

PALAVRAS-CHAVE: Atividade microbiana, β -glicosidase, DRES, sistemas agrossilvipastoril, sulfatase

CHAPTER 2 - SOIL QUALITY THROUGH BIOANALYSIS AND DRES, IN PRODUCTION SYSTEMS UNDER RED LATOSOLS FROM MATO GROSSO DO SUL

ABSTRACT

The evaluation of the quality of the systems of production and management of the soil is important to ensure that the decision making guarantees the maintenance and increase of the productive capacity in agricultural areas. The microbiological and physical indicators of the soil bring satisfactory results for the evaluation of the graphic attributes that are allowed as alterations in the soil, being the first to present an answer. The objective of the present work was to evaluate soil quality through microbiological indicators and soil structure, in simple and integrated soil management systems. Two areas with long-term experience in the Oxisol Red Dystrophic were studied, with 45% clay in the system implanted in 2009 in the municipality of Ponta Porã, MS, and with 18% clay in the system implanted in 2014 in the municipality of Naviraí, MS. In some areas, the production systems were applied: No-Tillage System (SPD), Conventional Preparation System (SPC), Eucalyptus Forest (F), Crop-Livestock Integration in tillage and pasture (ILP_p; ILP_lav) and Crop-Livestock-Forest in tillage and pasture (ILPF_p; ILPF_lav), Permanent Pasture (PP), Native Vegetation (VN), and a reference pasture (PR) with no experience in Naviraí. For microbiological analysis, the soil was collected from 0 to 10 cm deep, at six points per plot to compose a composite sample. For the analysis of the soil structure, six mini-trenches were opened in each treatment, where a block of soil with a thickness of 10 cm, 20 cm wide and 25 cm deep was removed, stored in the plastic tray for later visual analysis. The microbial biomass carbon (C-BMS), microbial respiration (C-CO₂), metabolic quotient (qCO₂), microbial quotient (qMic), Sulfatase and β -glycosidase activity, and soil structure analysis were determined by the method rapid soil structure diagnosis (DRES). The data were subjected to analysis of variance and analyzed using orthogonal contrast. In both experiments, VN presented better soil quality in relation to agricultural treatments, which was already expected due to the environmental balance in this natural environment. Considering the evaluated indicators, the areas with pasture (ILP_p, ILPF_p and PP) showed better soil quality in relation to treatments with

use under crops (SPD, SPC, ILP_lav and ILPF_lav). Among pastures, permanent pasture (PP) showed higher indexes in indicators in relation to pastures conducted in integrated systems (ILP_p, ILPF_p). There was an effect of afforestation in the pastures, in which the pasture without the presence of trees allowed the greatest activities in the studied indicators. Crops in integrated ILP and ILPF systems were better than crops conducted in simple SPD and SPC systems. Among the simple crops, it was possible to observe that the SPD showed greater activities of the enzymes β -glycosidase, sulfatase and structural quality of the soil in relation to the SPC. In general, the systems conducted in ILP and PP showed greater support capacity to maintain a high microbial activity and soil structure. The enzyme activity, with emphasis on sulfatase, were the most sensitive indicators to changes in soil management. DRES was efficient and allowed to evidence improvements in the soil structure with the use of more complex management systems.

KEY-WORDS: Microbial activity, β -glycosidase, DRES, agrosilvopastoral systems, sulfatase

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda mundial por alimentos, produtos florestais e bioenergia, em contraposição com a quantidade de áreas degradadas e a importância da redução de desmatamento, requer soluções que permitam dar incentivo ao desenvolvimento socioeconômico, sem prejudicar a sustentabilidade do ambiente. Dessa forma, práticas de manejo que contribuem para maiores produtividades de lavouras e maior lotação na pecuária, aumentando a eficiência dos sistemas de produção, podem contribuir para atender esses interesses (SAATH & FACHINELLO, 2016).

Nesse cenário, sistemas conservacionistas de Plantio Direto tem se mostrado eficiente, pois permitem associação de alta produção agropecuária com preservação do meio ambiente. Alternativas de manejos conservacionista tem sido apontado como estratégias, tais como a integração lavoura-pecuária (ILP) e lavoura-pecuária-floresta (ILPF) sob SPD, em diferentes arranjos. Esses sistemas são capazes de aumentar a Matéria Orgânica do solo (MOS) e o aporte de Carbono (C), pois fundamentam-se pela integração temporal e espacial dos componentes dos sistemas produtivos, com utilização de culturas agrícolas anuais em sequência à pastagem no SPD, visando a manutenção e diversificação da cobertura do solo e ausência de revolvimento (SALTON et al., 2005).

As modificações na MOS pelos usos de sistemas de manejo do solo podem ser avaliadas através dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, visto que a MOS é relacionada a essas propriedades (ARAÚJO et al., 2012; FERREIRA et al., 2016). A maior parte da fração viva da matéria orgânica do solo é representada por microrganismos. Esses seres são dependentes das condições do meio, assim são capazes de responderem rapidamente às alterações causadas no solo, decorrente das formas de uso e manejo. Além disso, são os principais responsáveis pela ciclagem e transformações dos nutrientes no solo, podendo ser utilizados como efetivos indicadores da qualidade do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

As comunidades microbianas podem ser monitoradas por variáveis microbiológicas, como a biomassa microbiana, avaliação de CO₂ liberados pela respiração dos microrganismos, índices como quociente metabólico e microbiano, atividade de enzimas relacionadas aos ciclos dos nutrientes no solo, com as enzimas sulfatase, relacionada ao ciclo do enxofre, sendo responsável pela transformação desse nutriente, tornando-o disponível às plantas, e a atividade da enzima β -glicosidase, relacionada ao ciclo do carbono, que atua na decomposição da celulose no solo. A

qualidade estrutural do solo também é um fator importante para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, pois a estrutura física do solo será mais complexa quanto maiores forem a quantidade e a diversidade dos resíduos vegetais disponibilizado ao sistema, além disso, as propriedades físicas possuem relação fundamental com atividade biológica do solo.

Com isso, o objetivo desse trabalho foi avaliar a qualidade do solo, por meio de atributos microbiológicos e estrutura visual do solo, em sistemas de produção tradicionais e integrados, sob Latossolo Vermelho Distrófico, nos municípios de Ponta Porã e Naviraí, MS.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em duas áreas com experimentos de longa duração em sistemas de integração Lavoura-Pecuária e Lavoura-Pecuária-Floresta em Plantio direto, e em sistemas tradicionais de produção em Plantio Direto, Preparo Convencional do Solo, Floresta de eucalipto e Pastagem Permanente. Uma das áreas está localizada no município de Ponta Porã-MS, com experimento implantado em 2009, em um Latossolo com média de 45% argila. A segunda área está localizada no município de Naviraí-MS, com experimento implantado em 2014, em Latossolo com média de 18% de argila. Em cada uma das áreas foram avaliados oito tratamentos de manejo do solo e uma área de vegetação natural, descritos nas Tabelas 1 e 3. As áreas foram selecionadas para este estudo devido aos tratamentos de manejos e tipo do solo serem iguais em ambas as áreas, permitindo comparar a qualidade de um solo arenoso, em relação a um solo argiloso, submetido ao mesmo manejo.

Caracterização das áreas experimentais

Área 1 – Estação experimental da Embrapa Agropecuária Oeste em Ponta Porã/MS

A área de estudo está localizada em um experimento de longa duração em área experimental da Embrapa Agropecuária Oeste (-22.548889, -55.648889), no município de Ponta Porã/MS. O experimento foi implantado no ano de 2009, ocupando área de 16 ha com predominância de Latossolo Vermelho Distrófico, de textura argilosa, com média de 45% de argila (AMARAL, 2000). A classificação climática é do tipo Cwa (Koppen, 1948), com temperatura média anual é de 21,0 °C e a precipitação pluviométrica de 1674

mm. As ocorrências de precipitação durante a coleta de solo estão registradas na Figura 1.

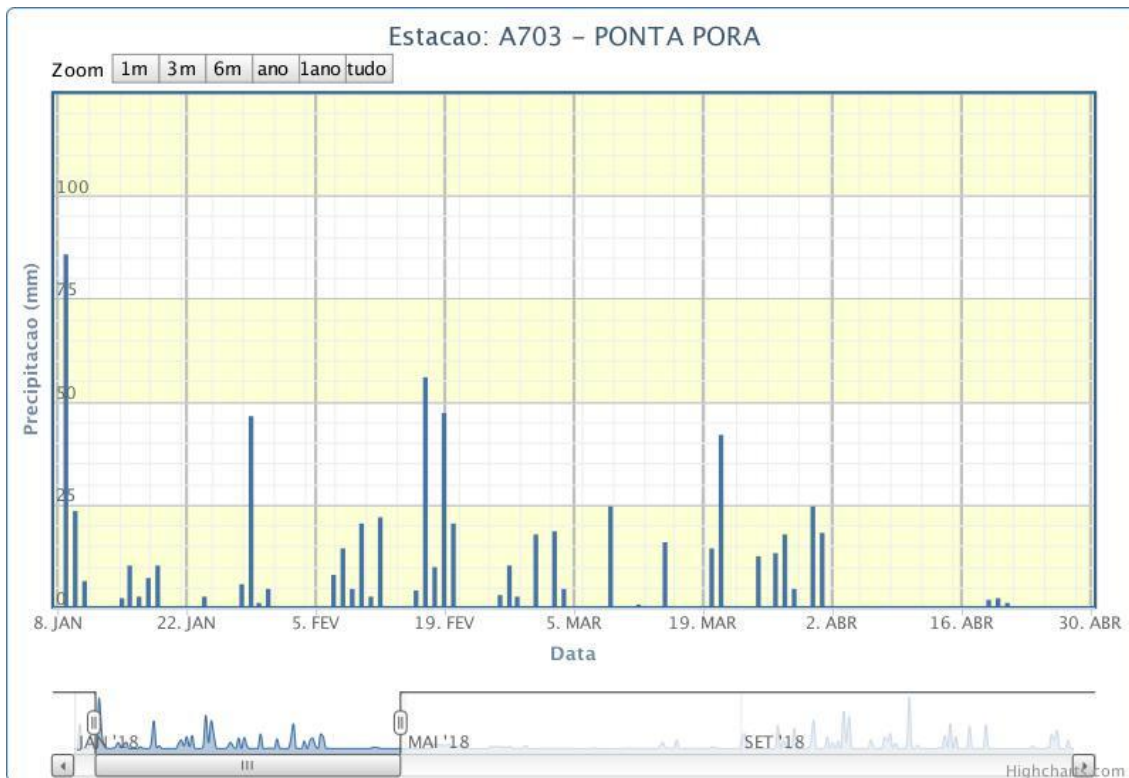


Figura 1: Precipitação pluviométrica acumulada, registrada na estação meteorológica do INMEP no Município de Ponta Porã-MS, entre os meses de Janeiro a Abril de 2018.

Foram avaliados oito sistemas de manejo do solo, em sistemas tradicionais e integrados de lavoura e pecuária, dispostos em faixa, e uma área de vegetação nativa (VN) adjacente aos tratamentos em estudo, buscando ter as mesmas características dos solos avaliados nos sistemas de manejo. As descrições dos tratamentos com sequência de culturas estão dispostas na Tabela 1 e a química do solo descritos na Tabela 2 abaixo.

Tabela 1 – Descrição dos tratamentos avaliados no experimento do município de Ponta Porã, MS, sob Latossolo Vermelho Distrófico, de 45% de argila

Sistema de Plantio Direto – SPD:
Lavoura em plantio direto, com soja no verão e milho consorciado com forrageira <i>Brachiaria ruziziensis</i> no outono/inverno.
Sistema de Preparo Convencional – SPC:
Lavoura de soja no verão com sucessão de milho no outono/inverno e preparo do solo com grades de discos pesada + niveladora.
Floresta de Eucalipto – FL:
Povoamento de eucalipto com 8 anos de idade, espécies variadas, em arranjo espacial de 3x2 metros, totalizando 1666 árvores ha ⁻¹ .
Integração Lavoura-Pecuária na fase pastagem – ILP_p:
Integração Lavoura-Pecuária com alternância entre lavoura soja/milho + <i>Brachiaria brizantha</i> (cv Xaraés) em ciclos de dois anos, conduzida em sistema de plantio direto, com pastagem no momento da coleta. (tempo pastagem)
Integração Lavoura-Pecuária na fase lavoura – ILP_lav:
Integração Lavoura Pecuária com alternância entre lavoura soja/milho + <i>B. brizantha</i> (cv Xaraés) em ciclos de dois anos, conduzida em sistema de plantio direto, com lavoura no momento da coleta.
Integração Lavoura-Pecuária-Floresta na fase pastagem – ILPF_p:
Integração Lavoura Pecuária Floresta com alternância entre lavoura soja/milho + <i>B. brizantha</i> (cv Xaraés) em ciclos de dois anos, conduzida em sistema de plantio direto + linhas simples de Eucalipto, com distância entre planta de 2 metros e 25 m entre linha, totalizando 200 árvores ha ⁻¹ , com lavoura no momento da coleta.
Integração Lavoura Pecuária Floresta na fase lavoura – ILPF_lav:
Integração Lavoura Pecuária Floresta com alternância entre lavoura soja/milho + <i>B. brizantha</i> (cv Xaraés) em ciclos de dois anos, conduzida em sistema de plantio direto + linhas simples de Eucalipto, com distância entre planta de 2 m e 25 m entre linha, totalizando 200 árvores ha ⁻¹ , com lavoura no momento da coleta.
Pastagem Permanente – PP:
Pastagem contínua de <i>B. brizantha</i> (cv Xaraés). (tempo implantação)
Vegetação Nativa – VN:
Vegetação nativa adjacente aos tratamentos.

Tabela 2: Análise Química do solo nos sistemas de manejo do solo do experimento de Ponta Porã, MS, na camada de 0-10 cm

Sistemas de manejo	pH	P	K+	SB	CTC	m	V	COT	M.O
		mg dm ⁻³		cmolc dm ⁻³			(%)		g Kg ⁻¹
SPD	5,4	48,2	0,4	4,7	5,1	7,6	41,6	1,7	28,8
SPC	5,3	40,7	0,5	4,0	4,6	14,8	36,1	1,6	27,6
FL	5,5	17,7	0,2	4,3	4,6	10,3	39,6	1,4	23,4
ILP_p	5,6	20,3	0,3	4,4	4,6	5,7	41,6	1,6	28,3
ILP_lav	5,4	29,6	0,4	3,5	3,9	12,0	32,5	1,8	30,8
ILPF_p	5,5	37,2	0,2	3,9	4,2	11,4	36,9	1,5	25,5
ILPF_lav	5,4	48,7	0,2	2,6	3,0	13,7	29,5	1,1	19,1
PP	5,6	14,6	0,3	3,8	3,9	4,4	40,5	1,7	29,7

SPD: lavoura em sistema de plantio direto; SPC: lavoura em sistema de plantio convencional; FL: floresta de eucalipto; ILP_p: integração lavoura-pecuária em fase de pastagem; ILP_lav: integração lavoura-pecuária em fase de lavoura; ILPF_p: integração lavoura-pecuária-floresta em fase de pastagem; ILPF_lav: integração lavoura-pecuária-floresta em fase de lavoura; PP: pasto permanente;

Área 2 – Unidade de produção da URT Copasul em Naviraí/MS

A área de estudo está localizada em um experimento de longa duração em área experimental da Embrapa Agropecuária Oeste (-22.995219, -54.380261), no município de Naviraí/MS, na Unidade de Referência tecnológica (URT) na fazenda da Copasul. O experimento foi implantado no ano de 2014, com predominância de Latossolo Vermelho Distrófico, de textura arenosa, com média de 18% de argila. A classificação climática é do tipo Aw (Koppen, 1948), com temperatura média anual entre 12 e 28 °C e a precipitação pluviométrica entre 1400 mm e 1700 mm. As ocorrências de precipitação durante a coleta de solo estão registradas na Figura 2.

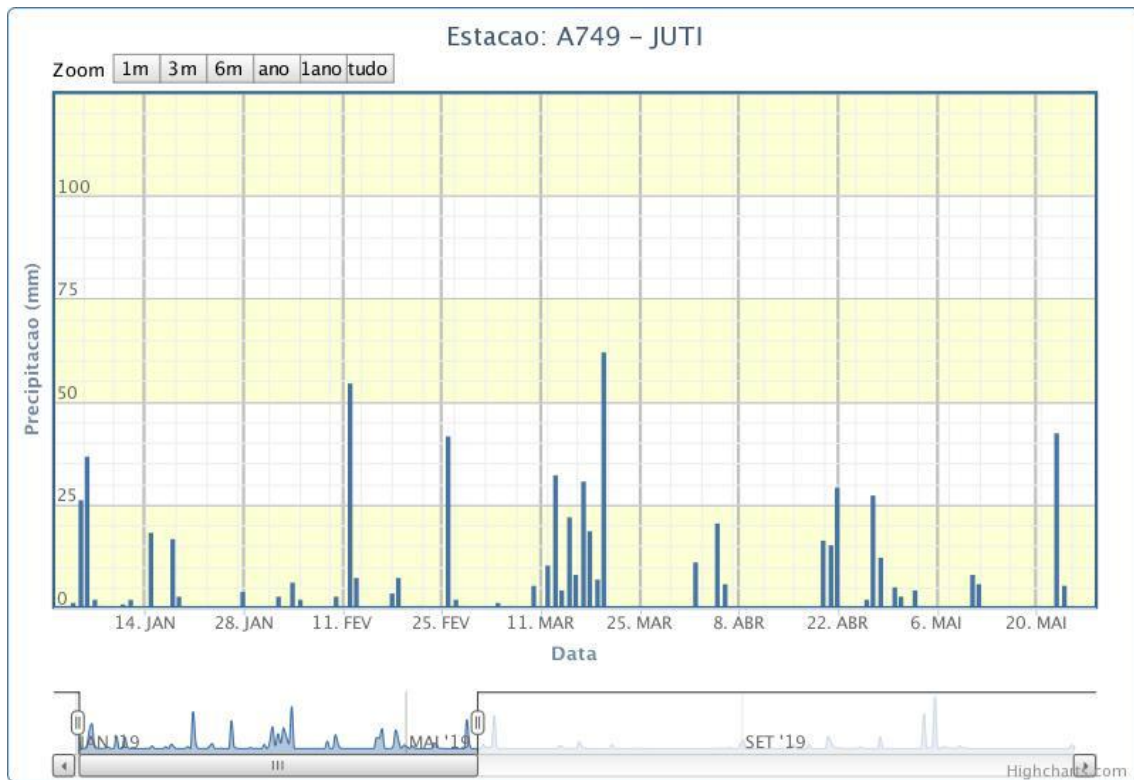


Figura 2: Precipitação pluviométrica acumulada, registrada na estação meteorológica do INMEP no Município de Juti-MS, entre os meses de Janeiro a Maio de 2019.

Foram avaliados nove sistemas de manejo do solo, em sistema tradicionais e integrados de lavoura ou pecuária, dispostos em faixa, e uma área de mata nativa adjacente aos tratamentos em estudo, buscando ter as mesmas características dos solos avaliados nos sistemas de manejo. Nessa área, ao todo foram avaliados 10 tratamentos, com as descrições dos tratamentos com sequência de culturas estão dispostas na Tabela 3 e a química do solo descritos na Tabela 4.

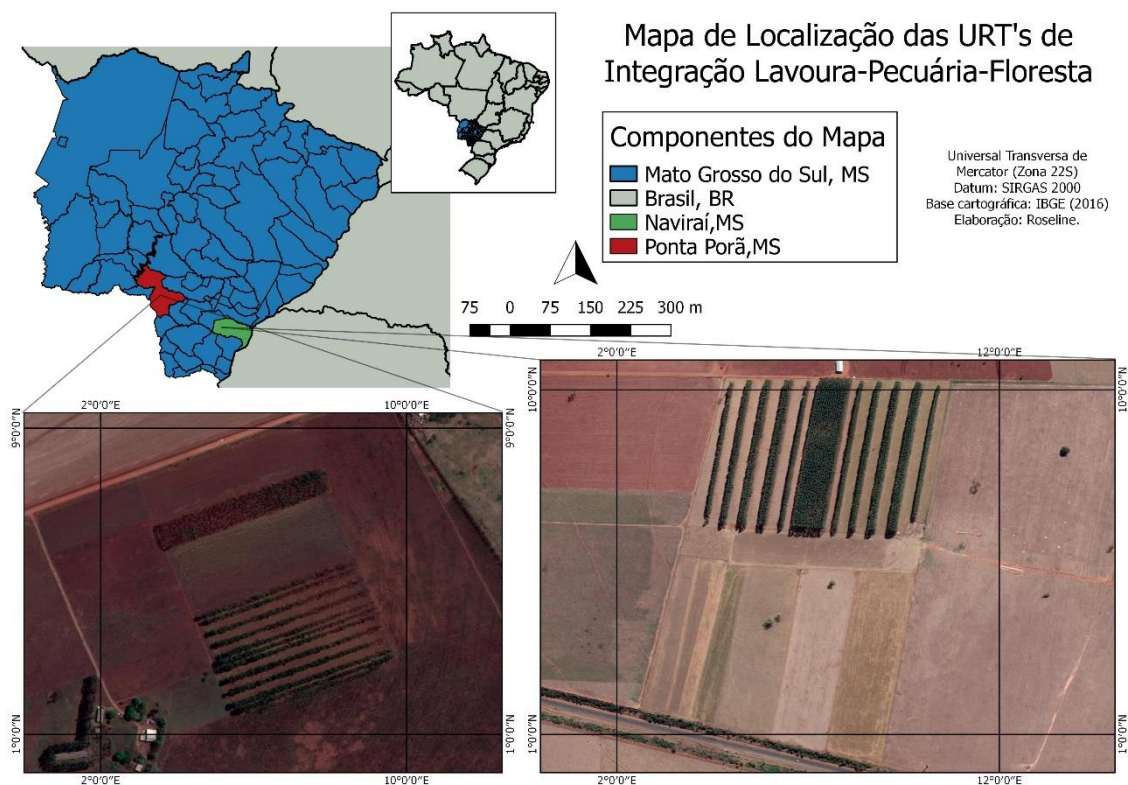
Tabela 3 – Descrição dos tratamentos avaliados no experimento do município de Naviraí, MS, sob Latossolo Vermelho Distrófico, com 18% de argila

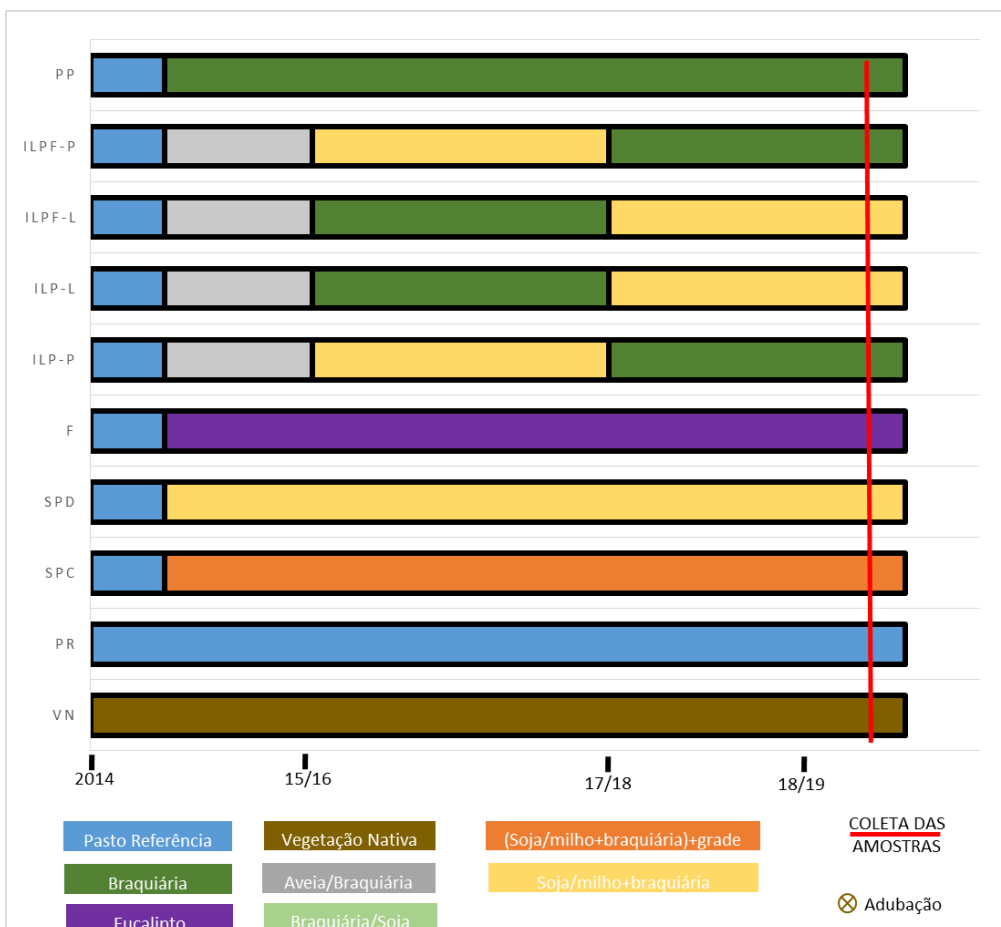
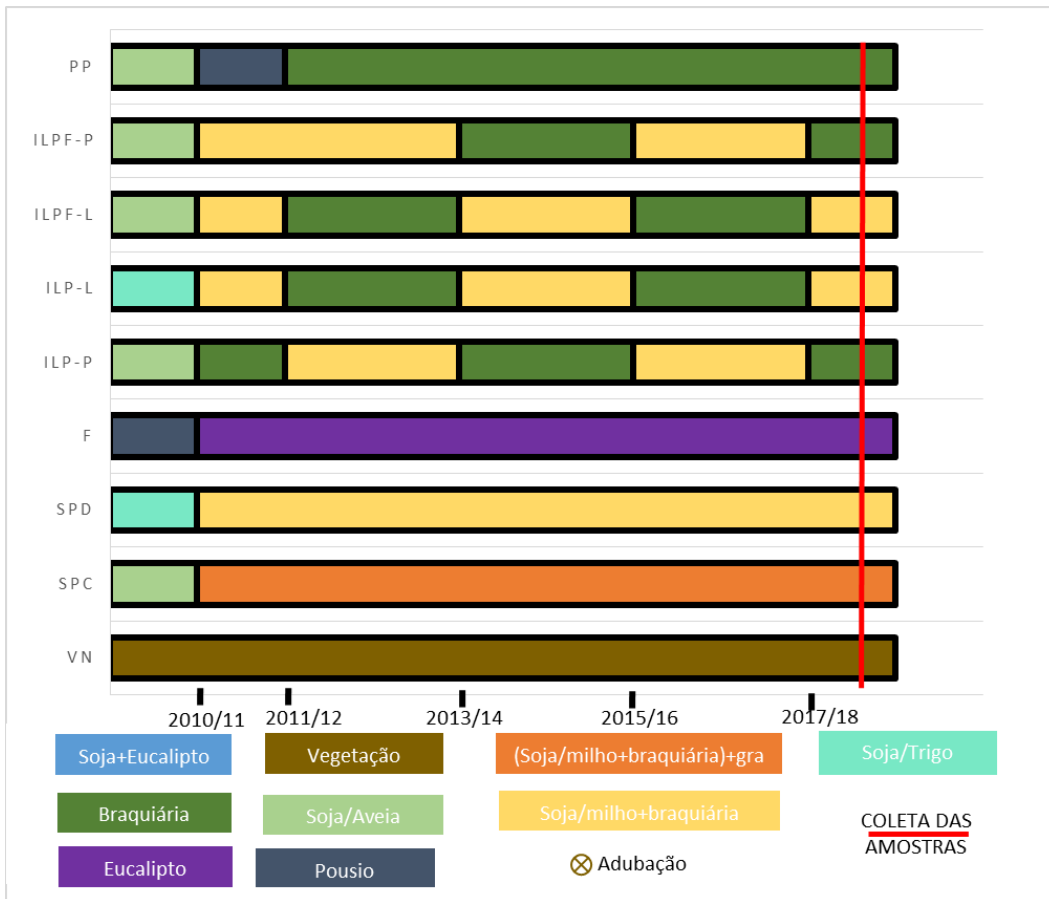
Sistema de Plantio Direto – SPD:
Lavoura em plantio direto, com soja no verão e milho consorciado com forrageira <i>Brachiaria ruziziensis</i> no outono/inverno, com pastagem recém implantada no momento da coleta (efeito da lavoura no solo)
Sistema de Preparo Convencional – SPC:
Lavoura de soja no verão com sucessão de milho no outono/inverno e preparo do solo com grades de discos pesada + niveladora, com pastagem recém implantada no momento da coleta (efeito da lavoura no solo)
Floresta de Eucalipto – FL:
Povoamento de eucalipto com 5 anos de idade, espécies variadas, em arranjo espacial de 3x2 metros, totalizando 1666 árvores ha ⁻¹ .
Integração Lavoura-Pecuária na fase pastagem – ILP_p:
Integração Lavoura-Pecuária com alternância entre lavoura soja/milho + <i>Brachiaria brizantha</i> (cv Xaraés) em ciclos de dois anos, conduzida em sistema de plantio direto, com pastagem no momento da coleta. (tempo pastagem, lotação)
Integração Lavoura-Pecuária na fase lavoura – ILP_lav:
Integração Lavoura Pecuária com alternância entre lavoura soja/milho + <i>B. brizantha</i> (cv Xaraés) em ciclos de dois anos, conduzida em sistema de plantio direto, com pastagem recém implantada no momento da coleta (efeito da lavoura no solo)
Integração Lavoura-Pecuária-Floresta na fase pastagem – ILPF_p:
Integração Lavoura Pecuária Floresta com alternância entre lavoura soja/milho + <i>B. brizantha</i> (cv Xaraés) em ciclos de dois anos, conduzida em sistema de plantio direto + linhas simples de Eucalipto, com distância entre planta de 2 metros e 25 m entre linha, totalizando 200 árvores ha ⁻¹ , com pasto no momento da coleta.
Integração Lavoura Pecuária Floresta na fase lavoura – ILPF_lav:
Integração Lavoura Pecuária Floresta com alternância entre lavoura soja/milho + <i>B. brizantha</i> (cv Xaraés) em ciclos de dois anos, conduzida em sistema de plantio direto + linhas simples de Eucalipto, com distância entre planta de 2 m e 25 m entre linha, totalizando 200 árvores ha ⁻¹ , com pastagem recém implantada no momento da coleta (efeito da lavoura no solo).
Pastagem Permanente – PP:
Pastagem contínua de <i>B. brizantha</i> (cv Xaraés). (tempo pastagem; lotação)
Pastagem Referência – PR:
Pastagem de <i>Brachiaria sp.</i> Em estado de degradação com as condições originais do solo antes da implantação dos sistemas de manejo.
Vegetação Nativa – VN:
Vegetação nativa adjacente aos tratamentos.

Tabela 4: Análise Química do solo nos sistemas de manejo do solo do experimento de Naviraí, MS, na camada de 0-10 cm

Sistemas de manejo	pH	P	K+	SB	CTC	m	V	COT	M.O
SPD	5,9	22,8	0,2	2,7	5,4	0,8	49,4	1,0	18,8
SPC	5,9	28,7	0,4	2,9	5,5	1,4	53,1	1,1	18,1
FL	5,4	7,2	0,1	1,8	5,4	4,6	34,3	0,98	17,2
ILP_p	6,2	15,0	0,2	2,7	4,7	0,0	57,6	1,05	18,1
ILP_lav	5,8	27,6	0,2	2,0	4,5	0,0	44,0	0,9	15,5
ILPF_p	6,3	20,9	0,1	2,9	4,7	0,0	61,2	0,9	15,5
ILPF_lav	5,9	18,1	0,2	3,1	6,0	0,0	51,6	1,18	20,3
PP	5,6	7,5	0,2	2,2	5,5	0,8	40,1	1,26	21,7
PR	5,2	2,8	0,2	1,3	5,4	24,5	23,2	0,97	16,7

SPD: lavoura em sistema de plantio direto; SPC: lavoura em sistema de plantio convencional; FL: floresta de eucalipto; ILP_p: integração lavoura-pecuária em fase de pastagem; ILP_lav: integração lavoura-pecuária em fase de lavoura; ILPF_p: integração lavoura-pecuária-floresta em fase de pastagem; ILPF_lav: integração lavoura-pecuária-floresta em fase de lavoura; PP: pasto permanente; PR: pasto referência;





Amostragem de solos

As coletas de solos foram realizadas em anos diferentes, no experimento de Ponta Porã, foram realizadas no outono de 2018 (abril/2018), e no outono de 2019 (abril/2019) em Naviraí, MS. Nas duas áreas, coleta de amostras de solo foram feitas nas profundidades de 0-10 cm para análise dos atributos microbiológicos do solo. O solo foi coletado com trato holandês, em seis repetições com seis subamostras, em cada tratamento, armazenado em sacos de plásticos e alocados em caixa térmica refrigerada, até o término da coleta, posteriormente, o solo foi armazenado em câmara fria até o momento das análises.

Em cada repetição de campo, foram retirados um bloco indeformado para a análises visual da estrutura do solo pelo método do DRES (RALISCH et al., 2017). Foram abertas minitrincheiras de 40 cm de comprimento, 30 cm de largura e 30 cm de profundidade. A remoção do solo foi feita perpendicular às linhas de cultivo. O bloco de solo de espessura de 10 cm, 20 cm de largura e profundidade de 25 cm foi removido da parede da minitrincheira e armazenado em bandeja de plástico para posterior análise visual. As amostras de solo foram levadas para os laboratórios da Embrapa Agropecuária Oeste para posterior processamento.

Análises dos atributos do solo

Carbono da Biomassa Microbiana do Solo (C-BMS)

As amostras de solo foram destorroadas e passadas em peneira de 2,0 mm de malha, a fim de retirar resíduos de plantas e pequenos organismos remanescentes, e posteriormente armazenadas em sacos de plásticos em ambiente refrigerado.

As análises do carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) foram realizadas pelo método da fumigação-extração descrito por Vance et al., 1987. As amostras foram umedecidas com um borrifador abastecido com água destilada em cerca de 40-60% da capacidade máxima de retenção de água e reservadas. Após 24 horas do umedecimento das amostras, foram pesadas, em frascos de vidro (“snap”), em quatro sub-amostras de 20g, sendo duas para fumigadas e duas para não fumigada, derivadas da amostra original, através de balança semi analítica. Para a fumigação, metade das amostras (duas sub-amostras) foram acondicionadas em um dessecador, juntamente com um frasco contendo 15 mL de clorofórmio puro (CHCl_3), logo o dessecador foi tampado e submetido a aspiração por meio de uma bomba de vácuo, até a sua pressão interna

atingisse valores próximos a -600 mmHg, e então mantido em local escuro durante 24 horas.

Decorridas 24 horas, o vapor de clorofórmio foi removido com uma bomba de vácuo. As amostras foram retiradas do dessecador e adicionado 50 mL K_2SO_4 0,5 mol L⁻¹ para a extração do C nas amostras fumigadas e não fumigadas. Os potes foram tampados e submetidos à agitação em 150 rpm durante 30 minutos. Após a agitação, as amostras foram reservadas em bancada para decantação, e logo, o sobrenadante foi filtrado, e retirado uma alíquota de 2 mL do líquido filtrado e transferido para um tubo de ensaio de 20 mL, onde foram adicionados, em ordem, 3 mL de água destilada, 2,5 mL de solução de trabalho (ST) e 2,5 mL de ácido sulfúrico para acelerar a reação, agitadas e colocadas em repouso durante 2 horas. Após esse período, foi feita a leitura da absorbância da curva padrão e das amostras em espectrofotômetro com comprimento de onda de 495 nm.

O cálculo do carbono da biomassa microbiana do solo é obtido através da equação e utilizado fator de correção $K_{ec}=0,33$;

$$C_{BMS} (\mu g. g^{-1}) = \frac{C (amostra fumigada) - C (amostra não fumigada)}{K_{ec}}$$

Respiração microbiana do Solo (C-CO₂) e quociente metabólico microbiano (qCO₂)

A respiração basal do solo foi determinada conforme De-Polli & Guerra (1997). Juntamente com a pesagem das amostras para C-BMS, foram pesadas diretamente em potes de vidro tipo “snap”, 50 g de solo peneirado e limpo, em duas repetições por amostra. Foram preparadas amostras em branco (“snap” sem solo). As amostras e os potes em brancos foram incubados em frascos herméticos de 500 mL, contendo no seu interior, frascos com 10 mL de uma solução de NaOH 1N. Os potes herméticos com as amostras dentro foram acondicionados em ambiente escuro, para proceder a incubação, durante 7 dias.

Após o período de incubação, procedeu-se a titulação do NaOH 1N com HCl 0.5N, acrescentando-se 2 mL de solução saturada de Ba Cl₂ 10% para precipitação do Na₂CO₃, adicionando 2 gotas de fenolftaleína 1% como indicador. O cálculo da respiração basal do solo consisti na seguinte equação:

$$CCO_2 (\mu g. g^{-1} ss. dia^{-1}) = \left(\frac{(V_b - V_a) \cdot M \cdot 6.1000}{P_s} \right) / T$$

Onde C-CO₂ = carbono oriundo da respiração microbiana do solo; V_b (mL) = volume de ácido clorídrico gasto na titulação da solução controle; V_a (mL) = volume gasto na titulação da amostra; M= molaridade exata do HCl; Ps (g) = massa de solo seco e T= tempo de incubação da amostra em dias.

O quociente metabólico do solo (qCO₂) será dado pela razão entre o carbono liberado no C-CO₂ pelo Carbono da BMS.

$$qCO_2 (\mu g \text{ CCO}_2 \cdot \mu g^{-1} \text{ C}_{BMS} \cdot dia^{-1}) = \frac{CCO_2 (\mu g \cdot g^{-1} \text{ ss} \cdot dia^{-1})}{C_{BMS} (\mu g \cdot g^{-1})} / 24$$

O quociente microbiano do solo (qMic) será dado pela razão entre o Carbono da BMS e o Carbono orgânico total do solo.

$$qMic (\%) = \frac{C_{BMS} (\mu \cdot g^{-1})}{C_{org} (\mu \cdot g^{-1})} * 100$$

Atividade enzimática

Para determinação enzimática, o solo foi peneirado em malha de 2 mm e retirados os pedaços de material orgânico remanescente. Foram pesados 1 g de solo em frascos Erlenmeyer de 50 mL, em duas repetições por amostra, mais a amostra controle, sendo então três sub-amostras de 1g da amostra principal, as análises foram realizadas no laboratório de microbiologia do solo da Embrapa/Cerrados.

Enzima β-Glicosidade

A determinação dessa enzima baseou-se na determinação colorimétrica do p-nitrofenol liberado pelas β-glucosidases do solo, quando o solo é incubado com uma solução tamponada de p-nitrofenil-β-D-glucopiranosídeo (PNG). Para isso, foram adicionadas 4 mL de MUB pH 6.0 (solução tampão) em todos os frascos, logo foi adicionado 1 mL de PNG (substrato) em todos os frascos, menos no controle. As amostras foram incubadas por 1 hora a 37 °C tampados com rolha de borracha. Após a incubação, foi adicionado 1 mL de CaCl₂ 0.5M, e 4 mL de TAM pH 12 (solução extratora), e então adicionado 1 mL de PNG nos controles. O material foi filtrado e feita a leitura da coloração amarela no espectrofotômetro a 420 nm. A atividade da β-glucosidase é dada em mg p-nitrofenol kg⁻¹ solo h⁻¹.

Enzima Sulfatase

A determinação dessa enzima baseou-se na determinação colorimétrica da p-nitrofenol liberado pelas sulfatases do solo quando o solo é incubado com uma solução

tamponada de p-nitrofenol sulfato (PNS). Para isso, foram adicionados 4 mL de tampão acetato pH 5.8, e 1 mL de PNS a todos os frascos menos o controle. As amostras foram incubadas por 1 hora a 37 °C tampados com rolha de borracha. Após a incubação, foi adicionado 1 mL de CaCl₂ 0.5M, e 4 mL de NaOH 0.5 M, e então adicionado 1 mL de PNS nos controles. O material foi filtrado e feita a leitura da coloração amarela no espectrofotômetro a 410 nm. A atividade da sulfatase é dada em mg p-nitrofenol kg⁻¹ solo h⁻¹.

Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES)

A avaliação visual da estrutura do solo, foi realizado pelo método Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES), de acordo Ralisch et al. (2017). A partir dos blocos de solos coletados na mini trincheira, foram observados tamanho e forma dos agregados e torrões, presença ou não de feições de compactação do solo, forma e orientação das fissuras, rugosidade das faces de ruptura, resistência à ruptura, distribuição e aspecto do sistema radicular e de evidências de atividade biológica, e a partir desses critérios, foi atribuído uma nota de um a seis, em que a maior nota significa a melhor condição da estrutura. A média geral das notas dos pontos amostrados compõe o índice de qualidade da estrutura do solo (IQEs).

Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, e a significância obtida pelo teste F, por meio de contrastes ortogonais. Os contrastes ortogonais permitem avaliar tratamentos em séries de comparações. Dessa forma, foi possível separar e comparar os tratamentos em grupos, facilitando o entendimento do efeito e diferenças dos manejos no solo. Foram realizadas análises para cada local separadamente, reiniciando as análises quando determinados grupos de repetiam. Com isso, foram rodados no programa R Studio os contrastes C1 ao C5, e reiniciado as análises para rodar o C6, visto que os tratamentos já haviam formado um grupo no contraste anterior (C5, Tabela 5), evitando erros na variância dos dados. O contraste C7 foi rodado apenas para o experimento de Naviraí, pois essa área possui de uma pastagem com as condições originais da área antes da implantação do experimento.

Tabela 5 – Contrastes ortogonais (C) utilizados na comparação entre os diferentes sistemas de manejo do solo avaliados no experimento do município de Ponta Porã e Naviraí, MS

Contrastes	Grupos
-------------------	---------------

C1	(VN) x (SPD, SPC, FL, ILP_p, ILP_lav, ILPF_p, ILPF_lav, PP)
C2	(SPD, SPC, FL, ILP_lav, ILPF_lav) x (ILP_p, ILPF_p, PP)
C3	(PP) x (ILP_p, ILPF_p)
C4	(ILPF_p) x (ILP_p, PP)
C5	(SPC, SPD) x (ILP_lav, ILPF_lav)
C6	(SPD) x (SPC)
C7	(PR) x (PP, ILP_p, ILPF_p)

SPD: lavoura em sistema de plantio direto; SPC: lavoura em sistema de plantio convencional; FL: floresta de eucalipto; ILP_p: integração lavoura-pecuária em fase de pastagem; ILP_lav: integração lavoura-pecuária em fase de lavoura; ILPF_p: integração lavoura-pecuária-floresta em fase de pastagem; ILPF_lav: integração lavoura-pecuária-floresta em fase de lavoura; PP: pasto permanente; PR: pasto referência (Naviraí); VN: vegetação nativa.

O contraste C1 teve como objetivo comparar os atributos do solo dos sistemas com uso agropecuário e florestal com um ambiente natural de mata nativa próxima ao local. O contraste C2 objetivou comparar o efeito do uso do solo com lavoura versus solo sob pastagens. Já o contraste C3 propôs avaliar o efeito da renovação periódica das pastagens em sistemas integrados quando comparados ao pasto permanente. Com o C4 foi avaliado o efeito da arborização na pastagem, comparando o pasto arborizado com os pastos sem árvores. As Lavouras em sistemas mais simples de SPD e SPC foram comparadas com as lavouras conduzidas em sistemas mais complexos de sistemas integrados no contraste C5. As lavouras em sistema simples de SPD e SPC foram comparadas entre si através do contraste C6. O contraste C7, utilizado para área de Naviraí, permitiu avaliar o efeito da renovação da pastagem, já que foi mantido uma área de pasto degradado como referência (PR), que vem sendo utilizado até o momento nas mesmas condições da época de implantação. Neste contraste comparou-se o PR com as demais áreas com pastagem. A análise de contrastes foi executada para os contrastes de C1 a C6, e depois o contraste C7 separadamente.

As variáveis C-BMS, C-CO₂, qCO₂, qMic, enzimas sulfatase e bglicosidase, e estrutura do solo (DRES) nos diferentes tratamentos de manejo do solo também foram submetidos a Análise dos Componentes principais (PCA), a fim de reduzir a dimensão dos dados originais e gerar eixos interpretáveis (eixos PCA), a partir de combinações lineares. O primeiro eixo, também denominado de componente principal 1 (CP1), é responsável pela maior variação possível no conjunto de dados, e o segundo eixo, o componente principal 2 (CP2), responsável pela maior variação possível restante, e assim

por diante, até que toda variação do conjunto tenha sido explicada (POPPI & SENNA, 2000).

Para a interpretação dos resultados na área de Ponta Porã, foi utilizado a tabela de interpretação dos indicadores microbiológicos desenvolvido por Mendes et al. (2019) para solos de textura argilosa. Uma tabela para comparação desenvolvida para solos de textura média e arenosa se torna necessário, visto que a intensificação da produção em solos com essas texturas, principalmente em solos com textura arenosa, é o grande desafio no estado de Mato Grosso do Sul, e em todo o território agropecuário. Para este trabalho, portanto, uma área referência de pasto degradado (PR), que foi mantido e vem sendo utilizado até o momento nas mesmas condições da época de implantação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Carbono da Biomassa Microbiana do Solo (C-BMS)

O C-BMS foi significativo nos contrastes C1 e C2 para os dois locais, e significativo no contraste C4 para a área de Ponta Porã. A partir das médias do C-BMS nos tratamentos dos dois experimentos (Tabela 6), é possível observar que para todos os sistemas analisados, exceto a floresta de eucalipto, os maiores valores do C-BMS foram para o experimento de Ponta Porã, em relação ao de Naviraí. Isso pode ser devido a textura do solo em ambos experimentos, onde o maior teor de argila no experimento de Ponta Porã (45% argila), pode ter influenciado positivamente a biologia do solo devido a maior capacidade de proteção de matéria orgânica nesse solo (BRAIDA et al., 2011).

Tabela 6 – Média dos tratamentos e diferença entre os grupos analisados nos contrastes ortogonais para a o carbono da biomassa microbiana do solo (μg de C g^{-1} solo)

Sistemas de Manejo	Médias dos grupos para C-BMS	
	<i>Ponta Porã</i>	<i>Naviraí</i>
SPD	178,5	121,8
SPC	182,7	120,8
ILP_lav	203,3	130,0
ILPF_lav	173,9	150,8
ILP_p	299,1	163,3
ILPF_p	186,7	164,7
PP	271,8	195,0
PR	-	166,3
FL	167,5	170,2
VN	386,8	225,7
CV %	20,9	22,6

Contraste	Diferença média entre grupos	
C1	178,9***	73,6 ***
C2	71,3***	35,6**
C3	28,9 ^{ns}	31,0 ^{ns}
C4	-98,8***	-14,5 ^{ns}
C5	7,9 ^{ns}	19,1 ^{ns}
C6	4,2 ^{ns}	-1,0 ^{ns}
C7	-	8,0 ^{ns}

C1 — (VN) x (SPD, SPC, FL, ILP_p, ILP_lav, ILPF_p, ILPF_lav, PP); C2 — (SPD, SPC, FL, ILP_lav, ILPF_lav) x (ILP_p, ILPF_p, PP); C3 — (PP) x (ILP_p, ILPF_p); C4 — (ILPF_p) x (ILP_p, PP); C5 — (SPC, SPD) x (ILP_lav, ILPF_lav); C6 — (SPD) x (SPC); C7 — (PR) x (PP, ILP_p, ILPF_p). ns, *, **, *** : não-significativos, significativos a 5, 1 e 0 % respectivamente, pelo teste F.

O contraste C1 permitiu evidenciar que o solo da vegetação nativa (VN) apresentou as maiores médias, em relação aos sistemas agropecuários e florestal. Neste contraste a diferença média de C-BMS entre os grupos foi de 178,53 e 73,59 ($\mu\text{g de C g}^{-1}$ solo), em Ponta Porã e Naviraí, respectivamente. Os altos valores de C-BMS na vegetação nativa podem ser atribuídos a diversidade de espécies vegetais nesse ambiente, que resulta em entrada abundante de substrato orgânico no solo, com maior diversidade nutrientes, os quais beneficia a biomassa microbiana do solo (PULROLNIK et al., 2009; LOURENTE et al., 2011). Maiores valores de C-BMS em solo de vegetação nativa em comparação com outros sistemas de culturas vegetais também foram relatados em outros estudos (COSTA et al., 2006; ARAÚJO et al. 2007; FERREIRA et al. 2011; COLMAN et al., 2013; STIEVEN et al., 2014; BALOTA et al., 2015; FREITAS et al., 2017; FERREIRA et al., 2017).

O solo com pastagens apresentou maiores médias de carbono microbiano comparado às lavouras (C2, Tabela 6). As pastagens nos dois experimentos são compostas por braquiária, e a presença dessa gramínea no sistema aumenta compostos orgânicos de fácil degradação, como resíduos vegetais e exsudados radiculares, utilizados como fonte de energia no crescimento microbiano, além disso, a cobertura do solo proporcionada pelas gramíneas mantém umidade e temperatura favoráveis ao estabelecimento e manutenção da biomassa microbiana, tornando o ambiente edáfico mais ativo nesses sistemas (FREIXO et al., 2002; AQUINO, 2007).

Ao comparar o ILPF com ILP e PP, observa-se maior C-BMS nos sistemas sem o componente arbóreo. Sistemas de ILPF, caracterizado pela presença de árvores, provoca sombreamento parcial dessas áreas, podendo reduzir o acúmulo de biomassa em pastagens (OLIVEIRA et al., 2007; MASCHERONI, 2015). Trabalhos realizados com

objetivo de avaliar biomassa de braquiária em diferentes distâncias da copa das árvores em ILPF, constataram que nas regiões mais sombreadas, as gramíneas tiveram menor biomassa de raiz na camada superficial do solo (PACIULLO et al., 2010), e menores produtividade de matéria seca (ALVES et al., 2013).

De fato, as braquiárias alcançam sua alta taxa metabólica a pleno sol, e sob a influência da sombra, como no ILPF, essas plantas priorizam a partição de fotoassimilados para a parte aérea em relação as raízes (PIMENTEL et al., 2016). Dessa forma, menores quantidades de exsudados são liberados pelas raízes, reduzindo a capacidade de manter uma alta biomassa microbiana no solo. Stieven et al. (2014) também observou redução da biomassa microbiana em sistemas ILPF e atribuiu que a presença do sombreamento resultou em menor crescimento vegetal e menor atividade biológica no solo.

O fato do sombreamento ter influenciado apenas as pastagens em Ponta Porã pode estar relacionado à disposição dos renques de eucalipto, onde em Ponta Porã, o experimento encontra-se no sentido Leste-Oeste, e em Naviraí está no sentido Norte-Sul. Dessa forma, a área de Naviraí sofreu pouca influência do sombreamento, tendo sol a maior parte das horas diárias, se igualando as pastagens conduzidas sem sombreamento, ao contrário de Ponta Porã, onde havia mais sombreamento gerado pelas copas das árvores durante o dia, ressaltando efeito do sombreamento nas pastagens e as diferenças de luminosidade nas disposições dos experimentos.

Considerando as tabelas de interpretação de bioindicadores proposta por Mendes et al. (2019) para solos de textura argilosa, os valores obtidos para C-BMS nesse estudo no experimento de Ponta Porã foram moderados (153 - 324 μg de C g^{-1} solo) nos tratamentos agropecuários, indicando que os manejos adotados nesses sistemas não contribuem para degradação do solo, mantendo a sustentabilidade das operações agrícolas. A VN apresentou valor adequado ($> 325 \mu\text{g}$ de C g^{-1} solo), o que já é esperado, devido ao equilíbrio ecológico nesse ambiente.

Respiração Microbiana do Solo (C-CO₂)

A Respiração microbiana (C-CO₂) é um processo biológico que resulta na liberação de CO₂ por microrganismos e partes de plantas no solo, tornando-se mais intensa em condições de maior concentração de O₂ no solo (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). Essa variável foi significativa nos contrastes C1, C2, C3 e C4 em Ponta Porã, e C2, C4 e C7 em Naviraí. Em Ponta Porã, a VN apresentou maior respiração microbiana,

em relação aos tratamentos agropecuários (C1, Tabela 7). Outros estudos de atributos microbiológicos também observaram atividade respiratória superior em vegetação nativa (SILVA et al., 2010; COLMAN et al., 2013; LISBOA et al., 2012).

O contraste C2 foi significativo para as duas áreas, onde os maiores índices de respiração foram nas pastagens, em relação às lavouras. A atividade microbiana está relacionada com o aporte de materiais orgânicos no solo, isto é, quanto mais resíduos orgânicos, maior será a quantidade de microrganismo envolvidos no processo de decomposição (MERCANTE et al., 2004; ROSCOE et al., 2006) e no caso dos tratamentos com pastagens, o aporte constante de resíduos e exsudados radiculares podem garantir uma elevada população microbiana ativa, em relação às lavouras.

Para Ponta Porã, a PP apresentou maiores médias que as pastagens conduzidas em sistemas integrados de ILP_p e ILPF_p (C3, Tabela 7). Na PP a presença das gramíneas é contínua, ao contrário do ILP e ILPF, onde há alternância entre pastagem em lavoura a cada dois anos. Como a atividade microbiana está relacionada com o aporte de materiais orgânicos no solo, a contribuição constante de carbono, em conjunto com uma menor amplitude térmica e manutenção da umidade no PP, pode ter permitido a elevada microbiota ativa.

Tabela 7 – Média dos tratamentos e diferença entre os grupos analisados nos contrastes ortogonais para a respiração microbiana do solo ($\mu\text{g de CO}_2\text{-C g}^{-1}\text{ solo dia}^{-1}$)

Sistemas de Manejo	Médias dos grupos para C-CO ₂	
	Ponta Porã	Naviraí
SPD	14,8	10,3
SPC	9,6	9,0
ILP_lav	17,5	9,2
ILPF_lav	12,9	8,7
ILP_p	23,4	15,7
ILPF_p	16,2	10,0
PP	36,6	13,8
PR	-	11,2
FL	12,7	6,7
VN	54,7	9,8
CV %	26,63	17,70
Contraste	Diferença média entre grupos	

C1	36,8***	-0,58 ^{ns}
C2	11,9***	4,4 ***
C3	16,8***	0,1 ^{ns}
C4	-13,8***	-4,8***
C5	3,0 ^{ns}	-0,75 ^{ns}
C6	-5,2 ^{ns}	-1,33 ^{ns}
C7	-	1,99*

C1 — (VN) x (SPD, SPC, FL, ILP_p, ILP_lav, ILPF_p, ILPF_lav, PP); C2 — (SPD, SPC, FL, ILP_lav, ILPF_lav) x (ILP_p, ILPF_p, PP); C3 — (PP) x (ILP_p, ILPF_p); C4 — (ILPF_p) x (ILP_p, PP); C5 — (SPC, SPD) x (ILP_lav, ILPF_lav); C6 — (SPD) x (SPC); C7 — (PR) x (PP, ILP_p, ILPF_p). ns, *, **, *** : não-significativos, significativos a 5, 1 e 0 % respectivamente, pelo teste F.

Nos dois experimentos, os maiores valores de C-CO₂ ocorreram nos pastos em ILP_p e PP, em relação ao ILPF. Para a área de Ponta Porã, a atividade microbiana apresentou o mesmo comportamento da biomassa microbiana (C4, Tabela 6 e 7), e como a emissão de CO₂ pela respiração é resultado da biomassa microbiana, infere-se que essa baixa emissão é resultado da redução da biomassa microbiana nesse ambiente sombreado, evidenciando que os sistemas de pasto em ILPF pode contribuir para a menor emissão de CO₂ na atmosfera.

A maior diferença entre os tratamentos em Ponta Porã (C1, C2, C3 e C4) em relação ao experimento de Naviraí (C2 e C4), pode ter sido devido a quantidade de chuvas nas áreas dias antes da amostragem do solo. Em ambas as áreas, as coletas foram realizadas em início do mês de abril, e observando as Figuras 1 e 2, é possível observar que em Ponta Porã, o regime de chuva antes das coletas foi maior em relação à Naviraí. Maiores teores de umidade no solo influenciam positivamente a atividade dos microrganismos presentes no solo, além disso, o experimento de Ponta Porã tem maior tempo de implantação dos sistemas de manejo (8 anos) em relação à Naviraí (5 anos), com maior histórico biológico, além da textura que contribui para maiores teores de MOS, justificando a maior atividade microbiológica no experimento de Ponta Porã.

Os pastos reformados (PP, ILP_p e ILPF_p) apresentaram maiores atividades de respiração microbiana no solo, em relação ao PR (C7, Tabela 7). Os pastos reformados possuem maior quantidade de raízes ativas, nos integrados existe maior diversidade de culturas, e dessa forma maiores entradas e carbono e exsudados radiculares liberados no solo, garantindo uma elevada população microbiana.

Quociente Metabólico Microbiano (qCO_2)

O quociente metabólico (qCO_2) indica a taxa de liberação de CO₂ por unidade de carbono microbiano, mostrando a eficiência da biomassa microbiana. Conforme o

contraste C1, no experimento de Ponta Porã, as maiores médias do quociente metabólico foi na VN, com uma diferença de 22,9 ($\mu\text{g de CO}_2\text{-C g}^{-1}\text{ C-BMS h}^{-1}$) em relação aos tratamentos agropecuários.

Para Naviraí, o contraste C1 também foi significativo, porém com as maiores médias do $q\text{CO}_2$ nos tratamentos agropecuário e florestal em relação a VN. Nesse caso, baixo $q\text{CO}_2$ na VN indica que a taxa de liberação de CO_2 por unidade de carbono microbiano é menor, ou seja, menos CO_2 é perdido pela respiração e maior proporção de C é incorporada aos tecidos microbianos, indicando que esse ambiente poderia estar em equilíbrio (SOUZA et al., 2006; SILVA et al., 2007; SOUZA et al., 2010; CUNHA et al., 2011). Em Ponta Porã, as maiores taxas no $q\text{CO}_2$ na VN pode ser devido ao bioma Mata Atlântica na área, com maiores umidades, ou então poderia estar passando por algum distúrbio devido a ações antrópicas, e dessa forma maior decomposição de resíduos orgânicos, tornando a população microbiana mais ativa com maiores liberações de CO_2 pela C-BMS.

Conforme o contraste C3, assim como o C- CO_2 , a maior média do $q\text{CO}_2$ foi encontrado no PP (C3, Tabela 8), em relação aos pastos integrados. Maiores valores de $q\text{CO}_2$ pode estar indicando que a biomassa microbiana estaria liberando nutrientes para a solução do solo nesses, (ESPÍNDOLA et al., 2001).

Tabela 8 – Média dos tratamentos e diferença entre os grupos analisados nos contrastes ortogonais para o quociente metabólico do solo ($\mu\text{g de CO}_2\text{-C g}^{-1}\text{ C-BMS h}^{-1}$)

Sistemas de Manejo	Médias dos grupos para $q\text{CO}_2$	
	Ponta Porã	Naviraí
SPD	36,5	36,5
SPC	23,6	30,3
ILP_lav	36,0	33,0
ILPF_lav	36,6	24,9
ILP_p	32,7	39,7
ILPF_p	40,7	26,2
PP	56,3	31,8
PR	-	11,2
FL	32,9	16,2
VN	59,8	17,8
CV %	27,6	27,6
Contraste	Diferença média entre grupos	

C1	22,9**	-12**
C2	10,1 ^{ns}	4,4 ^{ns}
C3	19,6*	-1,1 ^{ns}
C4	-3,8 ^{ns}	-9,5**
C5	6,3 ^{ns}	-4,5 ^{ns}
C6	-12,8 ^{ns}	-6,2 ^{ns}
C7	-	4,40 ^{ns}

C1 — (VN) x (SPD, SPC, FL, ILP_p, ILP_lav, ILPF_p, ILPF_lav, PP); C2 — (SPD, SPC, FL, ILP_lav, ILPF_lav) x (ILP_p, ILPF_p, PP); C3 — (PP) x (ILP_p, ILPF_p); C4 — (ILPF_p) x (ILP_p, PP); C5 — (SPC, SPD) x (ILP_lav, ILPF_lav); C6 — (SPD) x (SPC); C7 — (PR) x (PP, ILP_p, ILPF_p). ns, *, **, *** : não-significativos, significativos a 5, 1 e 0 % respectivamente, pelo teste F.

O contraste C4 foi significativo para Naviraí onde as maiores médias do qCO_2 foi no pasto sem árvore, em relação aos ILPF. O sistema em ILPF é mais similar as condições de VN, onde a taxa de aporte de C de fácil decomposição é menor em relação aos tratamentos somente com pastagens. Assim como a respiração microbiana (C4, Tabela 7), esse indicador manteve-se baixo no ILPF, mostrando equilíbrio na liberação de CO_2 nesse sistema integrado com eucalipto.

Quociente Microbiano do Solo ($qMic$)

O quociente microbiano ($qMic$) indica a quantidade de carbono do solo que está imobilizado na biomassa microbiana (SILVA et al., 2010), armazenado para futuros processos microbiano. O $qMic$ foi significativo nos contrastes C2 e C4 para Ponta Porã, e significativo nos contrastes C1 e C2 para Naviraí.

O contraste C1, significativo para Naviraí, indicou que a VN apresentou os valores mais alto desse atributo microbiológico, com um $qMic$ superior a 2%, significativamente diferente dos outros tratamentos. Esse resultado indica que em sistemas equilibrados, como na vegetação nativa, existe uma diversidade de cobertura e raízes, ocasionado uma deposição contínua de material vegetal, causando crescimento da população microbiana e carbono acumulado. Outros estudos também relataram maiores teores de $qMic$ em mata nativa (BALOTA et al., 2015; OLIVEIRA, 2015; DADALTO et al., 2015), possivelmente estimulada pela deposição constante de substratos ricos em carbono orgânico.

Tabela 9 – Média dos tratamentos e diferença entre os grupos analisados nos contrastes ortogonais para o quociente microbiano do solo (%)

Sistemas de Manejo	Médias dos grupos para $qMic$	
	<i>Ponta Porã</i>	<i>Naviraí</i>

SPD	1,2	1,3
SPC	1,1	1,1
ILP_lav	1,2	1,5
ILPF_lav	1,6	1,3
ILP_p	1,8	1,6
ILPF_p	1,3	1,8
PP	1,6	1,6
PR	-	1,8
FL	1,3	1,9
VN	-	2,3
CV %	28,22	28,11
Contraste	Diferença média entre grupos	
C1	-	0,8***
C2	0,34**	0,3*
C3	0,06 ^{ns}	-0,14 ^{ns}
C4	-0,43*	0,24 ^{ns}
C5	0,25 ^{ns}	0,24 ^{ns}
C6	0,11 ^{ns}	-0,09 ^{ns}
C7	-	-0,08 ^{ns}

C1 — (VN) x (SPD, SPC, FL, ILP_p, ILP_lav, ILPF_p, ILPF_lav, PP); C2 — (SPD, SPC, FL, ILP_lav, ILPF_lav) x (ILP_p, ILPF_p, PP); C3 — (PP) x (ILP_p, ILPF_p); C4 — (ILPF_p) x (ILP_p, PP); C5 — (SPC, SPD) x (ILP_lav, ILPF_lav); C6 — (SPD) x (SPC); C7 — (PR) x (PP, ILP_p, ILPF_p). ns, *, **, *** : não-significativos, significativos a 5, 1 e 0 % respectivamente, pelo teste F.

Para as duas áreas avaliadas, as pastagens tiveram o maior quociente microbiano (C2, Tabela 9), em relação às lavouras. Este quociente está associado com a qualidade e quantidade dos resíduos orgânicos depositados no solo, logo, influenciado pela qualidade da matéria orgânica do solo. Dessa forma, maior valor deste quociente indica acúmulo de carbono no solo e menor perda de carbono no sistema de ao longo do tempo (SPARLING, 1992; LOURENTE et al., 2011).

Em Ponta Porã, o quociente microbiano foi maior nos pastos sem integração arbórea (C4, Tabela 9), seguindo o mesmo comportamento da biomassa e respiração microbiana para esse local. O quociente microbiano em Naviraí também apresentou o mesmo comportamento da biomassa microbiana (C1 e C2, Tabelas 6 e 9). Normalmente, o carbono da biomassa microbiana representa de 1 a 4% do carbono orgânico total e, de modo geral, valores de q_{Mic} inferiores a 1% podem ser atribuídos a algum fator limitante à atividade da biomassa microbiana (SILVA et al., 2012; OLIVEIRA, 2015). Com exceção do SPC, em todos os outros tratamentos nas duas áreas avaliadas nessa pesquisa, os valores de q_{Mic} foram superiores a 1%, variando de 1,2 a 1,83% em Ponta Porã e de 1,13 a 2,30% em Naviraí, indicando que os manejos conservacionistas aplicados a esses sistemas estão eficientes em acumular carbono no solo.

Atividade Enzimática da Sulfatase

As sulfatases são importantes enzimas no solo pois atuam no processo de ciclagem do enxofre, transformando enxofre orgânico em inorgânico ($R-O-SO_3^- + H_2O \rightarrow R-OH + H^+ + SO_4^{2-}$), disponível para as plantas (TABATABAI & BREMNER, 1970). A atividade da enzima sulfatase foi similar nas duas áreas avaliadas, sendo significativa nos contrastes C2 ao C5 para Ponta Porã, e do C1 ao C6 para Naviraí. Os tratamentos agropecuários em Naviraí apresentaram maiores atividade da sulfatase em relação a VN (C1, Tabela 10), podendo estar indicando elevada atividade de transformação de enxofre disponível para as culturas.

A sulfatase apresentou maior atividade nas pastagens, em relação às lavouras (C2, Tabela 10), o que pode estar associado à atividade enzimática proveniente do tecido vegetal das gramíneas (MENDES et al., 2019). Entre as pastagens, a maior atividade enzimática ocorreu no PP em relação às pastagens em sistemas integrados ILP e ILPF. Esse resultado pode ser devido ao fato da rizosfera ser permanente, não ter revolvimento do solo e grande aporte de resíduos no PP, o qual favorece a qualidade do solo através de maior população microbiana, refletindo numa maior produção de enzimas, podendo ter acúmulo de enzimas protegidas e estabilizadas na matriz do solo (BANDICK & DICK, 1999; MENDES et al., 2003; BALOTA et al., 2004; PEIXOTO et al., 2010; BALOTA et al 2013).

A enzima sulfatase seguiu o mesmo comportamento das as outras variáveis microbiológicas analisadas, e foi maior no pasto sem árvores (ILP_p e PP) do que no ILPF (C4, Tabela 10). Para as lavouras, as maiores médias de atividade da sulfatase no grupo de lavoura em ILP e ILPF em relação as simples de SPC e SPD, nas duas áreas avaliadas (C5, Tabela 10).

Tabela 10 – Média dos grupos e diferença entre os grupos analisados nos contrastes ortogonais para a enzima Sulfatase ($\mu\text{g p-nitrofenol kg}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$)

Sistemas de Manejo	Médias dos grupos para Sulfatase	
	<i>Ponta Porã</i>	<i>Naviraí</i>

SPD	50,9	111,7
SPC	29,4	67,0
ILP_lav	108,4	103,3
ILPF_lav	59,4	150,4
ILP_p	115,2	147,5
ILPF_p	87,9	81,1
PP	170,4	168,5
PR	-	119,8
FL	83,3	122,3
VN	-	28,7
CV %	15,13	15,13

Contraste	Diferença média entre grupos	
C1	-	-90,3***
C2	58,3***	21,4**
C3	68,8**	54,2*
C4	-54,8***	-76,9***
C5	43,6***	37,6***
C6	-21,4 ^{ns}	-44,7***
C7	-	12,54 ^{ns}

C1 — (VN) x (SPD, SPC, FL, ILP_p, ILP_lav, ILPF_p, ILPF_lav, PP); C2 — (SPD, SPC, FL, ILP_lav, ILPF_lav) x (ILP_p, ILPF_p, PP); C3 — (PP) x (ILP_p, ILPF_p); C4 — (ILPF_p) x (ILP_p, PP); C5 — (SPC, SPD) x (ILP_lav, ILPF_lav); C6 — (SPD) x (SPC); C7 — (PR) x (PP, ILP_p, ILPF_p). ns, *, **, *** : não-significativos, significativos a 5, 1 e 0 % respectivamente, pelo teste F.

No experimento de Naviraí, o contraste C6 foi significativo onde o SPD apresentou maior atividade da enzima sulfatase, diferenciando-se em 44,7 ($\mu\text{g p-nitrofenol}^1 \text{ kg}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$) comparado ao SPC. Entre os componentes da biomassa microbiana, somente os fungos possuem ésteres de sulfato, o qual é substrato dessa enzima (BANDICK & DICK, 1999), e por ser um sistema que não utiliza revolvimento do solo, o SPD favorece a população de fungos (CALDERÓN et al., 2000), mantendo as hifas fúngicas interruptas, e condições de temperatura e umidade mais adequadas para a comunidade microbiana, enquanto no SPC, as operações de aração e gradagem do solo desfavorece as populações microbiana e conseqüentemente, reduz a atividade da enzima sulfatase (LISBOA et al., 2012). Esses resultados estão de acordo com outras pesquisas de atividade dessa enzima em sistemas de manejo (BALOTA et al., 2004; LISBOA et al., 2012).

Considerando as tabelas de interpretação dos indicadores microbiológicos desenvolvida por Mendes et al. (2019), a atividade da enzima sulfatase no experimento de Ponta Porã foi baixa na lavoura em SPC ($< 30 \mu\text{g p-nitrofenol}^1 \text{ kg}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$), moderada nas lavouras de SPD e ILPF_Lav ($31 - 70 \mu\text{g p-nitrofenol}^1 \text{ kg}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$), e adequada na lavoura em ILP_lav, nas pastagens (ILP_p, ILPF_p e PP), e na floresta de eucalipto ($> 71 \mu\text{g p-nitrofenol}^1 \text{ kg}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$), ressaltando a importância da alternância de lavoura com

pastagens e lotação animal apropriados, em estabelecer uma adequada atividade biológica do solo. A atividade da enzima sulfatase foi capaz de refletir as diferenças do efeito dos sistemas de manejo no solo, mostrando-se um sensível indicador da bioquímica do solo. Para Naviraí, onde ainda não há tabela para interpretação disponível na literatura, os maiores valores da sulfatase foi verificado na área com PP, seguida do ILPF_lav, e o menor valor foi na VN, seguida da SPC.

Atividade da Enzima β -glicosidase

A enzima β -glicosidase foi significativa nos contrastes C2, C4, C5 e C6 para Ponta Porã, e em Naviraí nos contrastes C1, C2, C4 e C5. Para Naviraí, a menor atividade da enzima β -glicosidase foi encontrada na VN, em relação ao grupo com tratamentos agropecuários (C1, Tabela 11). A enzima β -glicosidase atua na etapa final da decomposição da celulose (TABATABAI, 1994) e sua menor atividade na VN está relacionada com a composição dos resíduos vegetais que retornam ao solo nesse sistema, sendo resíduos de maior complexidade, como galhos, sementes e raízes com maiores teores de lignina e alta relação C:N, que levam mais tempo para serem decompostos, resultando em redução da atividade da β -glicosidase (MENDES, et al., 2019; BALOTA et al., 2013; PEIXOTO et al., 2010).

Para as duas áreas, a enzima β -glicosidase apresentou maior atividade nas pastagens em relação às lavouras (C2, Tabela 11). Resultados semelhantes foram encontrados Acosta-Martínez et al. (2007), os autores atribuíram a maior atividade dessa enzima na pastagem devido aos impactos positivos da vegetação nas propriedades do solo, incluindo as populações microbiana, que são beneficiadas pela ausência de revolvimento do solo, cobertura superficial e aporte contínuo de importantes quantidades de C no solo, que é a principal fonte de energia que mantém a biomassa microbiana no solo.

Tabela 11 – Média dos tratamentos e diferença entre os grupos analisados nos contrastes ortogonais para a enzima β -glicosidase ($\mu\text{g p-nitrofenol}^1 \text{ kg}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$)

Sistemas de Manejo	Médias dos grupos para β-glicosidase	
	<i>Ponta Porã</i>	<i>Naviraí</i>

SPD	68,2	55,7
SPC	47,2	58,3
ILP_lav	56,1	52,7
ILPF_lav	26,5	48,2
ILP_p	69,7	63,2
ILPF_p	52,0	44,4
PP	70,2	63,2
PR	-	41,67
FL	37,6	28,7
VN	-	11,0
CV %	17,42	17,4

Contraste	Diferença média entre grupos	
C1	-	-40,8***
C2	16,85***	8,2**
C3	9,33 ^{ns}	9,4 ^{ns}
C4	-17,94*	-18,7***
C5	-16,41**	-6,6*
C6	-21,03*	2,7 ^{ns}
C7	4,73 ^{ns}	15,2***

C1 — (VN) x (SPD, SPC, FL, ILP_p, ILP_lav, ILPF_p, ILPF_lav, PP); C2 — (SPD, SPC, FL, ILP_lav, ILPF_lav) x (ILP_p, ILPF_p, PP); C3 — (PP) x (ILP_p, ILPF_p); C4 — (ILPF_p) x (ILP_p, PP); C5 — (SPC, SPD) x (ILP_lav, ILPF_lav); C6 — (SPD) x (SPC); C7 — (PR) x (PP, ILP_p, ILPF_p). ns, *, **, *** : não-significativos, significativos a 5, 1 e 0 % respectivamente, pelo teste F.

Assim como as outras variáveis microbiológicas analisadas, a enzima β -glicosidase foi maior no grupo dos pastos sem árvores do que no ILPF (C4, Tabela 11). Esses resultados podem ser efeito da menor biomassa microbiana do solo nos ILPF (C4, Tabela 6) resultando em menores contribuição de enzimas liberadas no solo. Nos tratamentos com lavouras, as maiores médias de atividade da β -glicosidase foram na lavoura simples, em relação as integradas em ILP_lav e ILPF_lav (C5, Tabela 11). Os sistemas ILP promovem estabilização da matéria orgânica e consequente estabilização da enzima β -glicosidase (MENDES, et al., 2019).

No experimento de Ponta Porã, maior atividade da β -glicosidase foi no sistema SPD em relação ao SPC (C6, Tabela 11). Outros estudos obtiveram resultados similares na comparação manejo do solo em relação a atividade dessa enzima. Os autores associaram o resultado à maior capacidade dos sistemas conservacionistas em aumentar o conteúdo de C do solo, principalmente nas camadas superficiais (ROLDAN et al., 2005; VAN DE BOSSCHE et al., 2008; MELERO et al., 2008; LISBOA et al 2012), e a preservação das relações construídas no solo ao longo do tempo de cultivo (MENDES, et al., 2019) dessa forma, a menor disponibilidade de nutrientes no SPC pode ter contribuído para a redução da β -glicosidase nesse sistema.

Os pastos reformados (PP, ILP_P e ILPF_P) apresentaram maior atividade da enzima β -glicosidase, em relação ao PR (C7, Tabela 11), evidenciando a contribuição positiva da maior entrada de carbono nos pastos reformados. Essa enzima foi um sensível indicador em comparação com os outros indicadores analisados, logo, foi capaz de mostrar a diferença biológica, entre o pasto em estado de degradação e os pastos que foram reformados.

Considerando as tabelas de interpretação dos indicadores microbiológicos desenvolvida por Mendes et al. (2019), a atividade da enzima β -glicosidase no experimento de Ponta Porã foi moderada no SPD, ILP_p e PP ($67 - 115 \mu\text{g p-nitrofenol}^1 \text{kg}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$), e baixa nos demais tratamentos ($< 66 \mu\text{g p-nitrofenol}^1 \text{kg}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$).

No geral, a atividade das enzimas sulfatase e β -glicosidase foram eficientes em refletir o funcionamento do solo nos tratamentos analisados, demonstrando a importância de sistemas conservacionistas, com ausência de revolvimento, e grande produção de biomassa e cobertura vegetal, evidenciando a sustentabilidade dos sistemas integrados de ILP e ILPF em plantio direto.

Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES)

O DRES (RALISCH et al., 2017) é uma análise da estrutura do solo dada em notas que variam de 1 a 6, onde as maiores notas é resultado de melhor estrutura do solo. Essa variável foi significativa nos contrastes C1, C2, C4, C5 e C6 para Ponta Porã e significativo nos contrastes C1, C2, C4, C5 e C7 para Naviraí.

Para as duas áreas, a estrutura do solo avaliada pelo DRES foi melhor na VN comparado aos sistemas agropecuários (C1, Tabela 10). As raízes das árvores em ambientes naturais exercem um efeito físico no solo, atuando na agregação do solo (SILVA et al., 1998), além de teores estáveis de matéria orgânica (BEUTLER et al., 2001), presença de fauna edáfica, ausência de revolvimento e tráfego de máquinas agrícolas, o que contribuí para maior qualidade da estrutura do solo nesse ambiente de vegetação natural.

Tabela 12 – Média das notas e diferença entre os grupos analisados nos contrastes ortogonais para o DRES (IQEs).

Sistemas de Manejo	Médias dos grupos para DRES
---------------------------	------------------------------------

	<i>Ponta Porã</i>	<i>Naviraí</i>
SPD	3,7	2,8
SPC	2,3	2,2
ILP_lav	4,9	4,2
ILPF_lav	3,6	5,3
ILP_p	4,9	5,2
ILPF_p	3,8	3,9
PP	5,0	4,5
PR	-	4,2
FL	3,8	2,7
VN	5,6	5,5
CV %	22,98	17,4
Contraste	Diferença média entre grupos	
C1	1,6***	1,7***
C2	0,8**	1,1***
C3	0,67 ^{ns}	-0,03 ^{ns}
C4	-1,1*	-0,95**
C5	1,3**	2,3***
C6	-1,3*	-0,7 ^{ns}
C7	-	0,51 ^{ns}

C1 — (VN) x (SPD, SPC, FL, ILP_p, ILP_lav, ILPF_p, ILPF_lav, PP); C2 — (SPD, SPC, FL, ILP_lav, ILPF_lav) x (ILP_p, ILPF_p, PP); C3 — (PP) x (ILP_p, ILPF_p); C4 — (ILPF_p) x (ILP_p, PP); C5 — (SPC, SPD) x (ILP_lav, ILPF_lav); C6 — (SPD) x (SPC); C7 — (PR) x (PP, ILP_p, ILPF_p). ns, *, **, *** : não-significativos, significativos a 5, 1 e 0 % respectivamente, pelo teste F.

As maiores médias no DRES foram nas pastagens em relação às lavouras (C2, Tabela 12), indicando que os sistemas com pastagens são mais eficientes em promover agregação do solo. As braquiárias apresentam inúmeras vantagens quando inseridas no sistema. O seu crescimento radicular fasciculado, abundante e agressivo, quando submetido a estresse físico ocasionado pela compactação, apresenta como resposta da planta maior emissão de raízes laterais como alternativa para explorar maior volume de solo (PIMENTEL et al., 2016). As raízes laterais em crescimento vão se entrelaçando em pequenos torrões resultando em agregados maiores, além dos exsudados liberados que também atuam como o agente agregador de partículas no solo (SALTON & TOMAZI, 2014), tornando o solo mais resistente aos processos erosivos. A atividade biológica do solo é um dos principais fatores que contribuem para aumento do tamanho e qualidade da estrutura do solo, assim, para Ponta Porã e Naviraí, o contraste C2 também foi significativo na microbiologia, onde as maiores médias foram para o C-BMS, C-CO₂, qMic, e nas enzimas sulfatase e β-glicosidase, ressaltando que pode haver uma relação positiva entre a biologia e estrutura do solo nessas áreas.

O efeito do sistema radicular de plantas de *Brachiaria ruziziensis* na formação e estabilidade de agregados, foi estudado por Hernani et al. (2013), relatando que raízes ativas da *B. ruziziensis* são eficazes em incrementar o teor de matéria orgânica, o índice de estabilidade de agregados, o diâmetro médio ponderado e a percentagem de agregados estáveis em água da classe > 4,76 mm dos primeiros 10 cm do solo, evidenciando a contribuição positiva do uso de gramíneas na estruturação do solo nesses sistemas.

Nos dois experimentos, o DRES foi maior nos pastos manejados sem árvores, em relação ao ILPF (C4, Tabela 12). Esse contraste também foi significativo em Naviraí para o C-CO₂, qCO₂, sulfatase e β-glicosidase, em Ponta Porã, para o C-BMS, C-CO₂, qMic, sulfatase e β-glicosidase apontando maiores atividades microbiológicas no pasto sem árvores. Esses resultados estão relacionados com os benefícios que as raízes das braquiárias exercem no solo, onde os pastos sem integração arbórea podem ter permitido que essas plantas alcançassem altas taxas fotossintéticas e adicionassem mais carbono no sistema, resultando em efeito benéfico na biologia do solo e estruturação do solo.

O DRES foi maior nas lavouras integradas (ILP_lav e ILPF_lav), em relação as lavouras simples de SPD e SPC (C5, Tabela 12), ressaltando mais uma vez nesse estudo, a vantagem da braquiária no sistema na fase de pastagem e do não revolvimento do solo em sistemas integrados. O sistema radicular das braquiárias é bastante eficiente em promover uma estruturação adequada do solo, com formação de agregados estáveis, macroporosidade e canais no solo, proporcionando ambiente favorável para o crescimento da lavoura subsequente a fase de pastagem, (SALTON & TOMAZI, 2014), e assim, mantendo as relações que resultam em agregação e estrutura do solo.

Para o experimento de Ponta Porã, o contraste C6 foi significativo no qual o sistema SPD proporcionou maior nota do DRES comparado ao SPC, ressaltando o efeito positivo da ausência de revolvimento e acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo sobre a estabilidade dos agregados e estrutura do solo. Esse contraste não foi significativo para o experimento de Naviraí, o que pode ser devido a textura mais arenosa do solo nessa área, onde solos arenosos perdem rapidamente o carbono presente no solo, devido ao baixo teor de argila para exercer a proteção da MOS, sendo necessário um alto aporte constante de raízes para compensar a perda de carbono e baixa capacidade de proteção da MOS. Apesar do SPD ter apresentado uma alta atividade da enzima sulfatase (C6, Tabela 11), e pela ausência de revolvimento, o que indica que possivelmente havia

uma maior atividade fúngica para exercer a estabilização do solo, no entanto, não foi suficiente para manter a agregação do solo e resultar em maior estrutura desse solo. O que poderia ser feito para contornar esse resultado seria mudança no manejo SPD, aumentando o tempo de permanência de raízes no sistema, assim como no ILP, onde as braquiárias exercem benefícios no solo durante dois anos, antes da implantação da lavoura.

De forma geral, os sistemas conservacionistas mostraram maior estruturação do solo. O DRES foi eficiente na identificação e diferenciação dos sistemas de manejo, podendo ser utilizado na avaliação de manejo do solo que promova a conservação do solo e da água em áreas agrícolas.

Análise de Componentes Principais

Na análise de componentes principais (PCA), os autovetores dos dois primeiros eixos da PCA explicaram 82% da variabilidade dos dados em Ponta Porã e em Naviraí. Para o experimento de Ponta Porã (Tabela 13), o primeiro eixo explicou 69% da variabilidade dos dados, e o segundo eixo, 13%. O C-CO₂ e a sulfatase apresentaram maior associação positiva (0,441 e 0,430) no primeiro eixo, enquanto que o *q*Mic e a β -glicosidase apresentou maior associação (0,776 e -0,422) no segundo eixo. No segundo componente principal (CP2), o *q*Mic apresentou alta significância. No experimento de Naviraí, os dois primeiros eixos explicaram 45% e 37% respectivamente. O C-CO₂ e a β -glicosidase apresentaram maior associação negativa (-0,532 e -0,438) no primeiro eixo, enquanto que o C-BMS e *q*Mic apresentaram maior associação positiva (0,547 e 0,525) no segundo eixo.

Todos os atributos avaliados apresentaram correlação positiva com o primeiro eixo da PCA em Ponta Porã e negativa em Naviraí, mesmo comportamento observado para os tratamentos PP e ILP_p, (Figura 3) refletindo a relação positiva destes sistemas com os componentes da biologia e estrutura do solo. As maiores correlações em Ponta Porã foram com C-CO₂, *q*Mic e as enzimas, o que pode refletir a alta capacidade desses solos com pastagens em manter a comunidade microbiana ativa, devido a liberação de exsudados, maiores entradas de C, e manutenção da umidade do solo com a cobertura com gramíneas. No segundo componente principal (CP2), o *q*Mic e a β -glicosidase em Ponta Porã, e o C-BMS e *q*Mic em Naviraí, foram as variáveis que apresentaram a maior

significância. Das sete variáveis microbiológicas analisadas nesse estudo, somente a β -glicosidase não influenciou significativamente a qualidade do solo nos manejos estudados no experimento de Ponta Porã, e em Naviraí, todas as variáveis foram significativas.

Tabela 13: Análise dos componentes principais dos atributos microbiológico do solo nos sistemas de manejo avaliados no experimento de Ponta Porã e Naviraí, MS, na camada de 0-10 cm

Componentes Principais						
Componentes de variância	Ponta Porã			Naviraí		
	Eixo 1	Eixo 2	Pr (<r)	Eixo 1	Eixo 2	Pr (<r)
Autovalores	2,197	0,947		1,773	1,607	
Proporção %	69	13		45	37	
Proporção acumulada %	69	82		45	82	

Correlação entre os componentes principais						
Variáveis	Ponta Porã			Naviraí		
	Eixo 1	Eixo 2	Pr (<r)	Eixo 1	Eixo 2	Pr (<r)
C-BMS	0,400	0,302	0,018 *	-0,190	0,547	0,001 ***
qMic	0,298	0,776	0,001 ***	0,065	0,525	0,021 *
C-CO₂	0,441	-0,088	0,001 ***	-0,532	0,017	0,005 **
qCO₂	0,349	-0,323	0,045 *	-0,417	-0,365	0,001 ***
β-glicosidase	0,306	-0,422	0,081 ns	-0,438	-0,348	0,002 **
Sulfatase	0,430	-0,081	0,003 **	-0,375	0,315	0,027 *
DRES	0,393	-0,091	0,032 *	-0,410	0,262	0,034 *

* Coeficientes de correlação com as variáveis originais padronizadas. Número em negrito indica a variável com maior carga fatorial (escores) dentro de cada fator. Critério de classificação: valor absoluto <0,30, considerado pouco significativo; 0,30–0,40, mediamente significativo; e $\geq 0,50$, altamente significativo. C-BMS: $\mu\text{g g}^{-1}$; C-CO₂: $\mu\text{g de CO}_2\text{-C g}^{-1}$ solo dia⁻¹; qC-CO₂: $\mu\text{g de C-CO}_2\text{ g}^{-1}$ C-BMS h⁻¹; qMic: %; Sulfatase, β -glicosidase: $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1}$ solo h⁻¹; DRES. ns, *, **, *** : não-significativos, significativos a 5, 1 e 0 % respectivamente, pelo teste F.

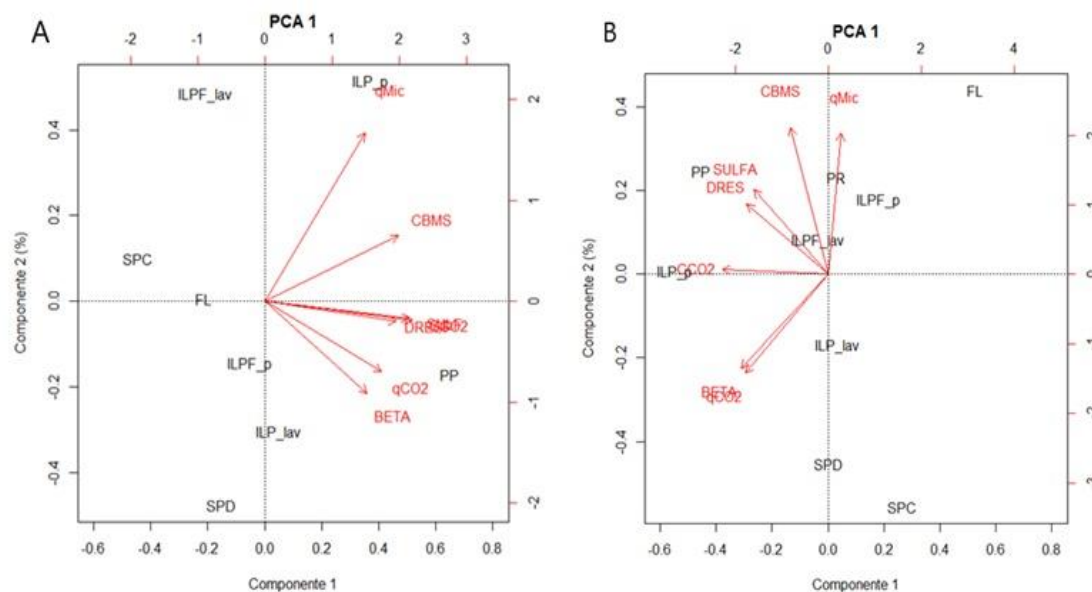


Figura 3: Biplot dos atributos microbiológicos do solo em diferentes manejos do solo no experimento de Ponta Porã (A) e Naviraí (B), MS. Componente - Componentes principais; SPD: lavoura em sistema de plantio direto; SPC: lavoura em sistema de plantio convencional; FL: floresta de eucalipto; ILP_p: integração lavoura-pecuária em fase de pastagem; ILP_lav: integração lavoura-pecuária em fase de lavoura; ILPF_p: integração lavoura-pecuária-floresta em fase de pastagem; ILPF_lav: integração lavoura-pecuária-floresta em fase de lavoura; PP: pasto permanente; PR: pastagem Referência (Naviraí). C-BMS: $\mu\text{g g}^{-1}$; C-CO₂: $\mu\text{g de CO}_2\text{-C g}^{-1}$ solo dia⁻¹; qC-CO₂: $\mu\text{g de C-CO}_2 \text{ g}^{-1}$ C-BMS h⁻¹; qMic: %; SULFA: Sulfatase, BETA: β -glicosidase: $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1}$ solo h⁻¹; DRES.

4. CONCLUSÕES

Os sistemas integrados de ILP e a pastagem permanente (PP) apresentaram a melhor qualidade do solo, sendo indicados para uso sustentável do solo.

Os solos sob uso de pastagens resultaram em melhor qualidade do solo em relação às lavouras, ressaltando a importância do uso do ILP em solos sob lavoura, e dentre os sistemas com pastagens, o pasto permanente foi o que refletiu em melhor qualidade do solo.

Houve efeito da arborização nos sistemas com pastagem, onde os pastos sem a presença de árvore apresentaram os maiores índices nos indicadores utilizados.

As atividades das enzimas sulfatase e β -glicosidase e a avaliação da estrutura do solo, foram sensíveis às diferenças nos manejos em estudo, em especial a sulfatase e a avaliação da estrutura foram mais adequados como indicador de qualidade, pois

apresentou melhor discriminação entre os tratamentos tanto em solo argiloso como arenoso, refletindo o efeito dos manejos adotados nas áreas.

5. REFERÊNCIAS

ACOSTA-MARTÍNEZ, V.; CRUZ, L.; SOTOMAYOR-RAMÍREZ, D.; PÉREZ-ALEGRÍA, L. Enzyme activities as affected by soil properties and land use in a tropical watershed. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 35, n. 1, p. 35-45, 2007.

ALVES, V. B.; CECCON, G.; SALTON, J. C.; LUIZ NETO NETO, A.; LEITE, L. F. Produtividade do consórcio milho-braquiária em integração com pecuária e floresta de eucalipto. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 2013, Dourados-MS. Estabilidade e produtividade: **anais...** Embrapa Agropecuária Oeste, 2013. p. 1-7.

AMARAL, J. A. M. do; MOTCHI, E. P.; OLIVEIRA, H. de; CARVAHO FILHO, A. de.; NAIME, L. J.; SANTOS, R. D. dos. Levantamento detalhado dos solos do Campo Experimental de Ponta Porã, da Embrapa Agropecuária Oeste, município de Ponta Porã, MS. 41p. ii. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 23; Embrapa Solos. Documentos, 16). 2000.

AQUINO, S. S. **Atributos microbiológicos em sistemas de manejos do solo na integração lavoura-pecuária**. 2007, 76 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira-SP, 2007.

ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.

BALOTA, E. L.; KANASHIRO, M.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. A.; DICK, R. P. Soil enzyme activities under long-term tillage and crop rotations systems in subtropical agro-ecosystems. **Brazilian Journal of Microbiology**, Rio de Janeiro, v. 35, n. 4, p. 300-306, 2004.

BALOTA, E. L.; NOGUEIRA, M. A.; MENDES, I. C.; HUNGRIA, M.; FAGOTTI, D. S. L.; MELO, G. M. P.; SOUZA, R. C.; MELO, W. J. Enzimas e seu papel na Qualidade do Solo. In: ARAÚJO, A. P.; ALVES, B. J. R. (Eds.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 8 p. 221-278, 2013.

BALOTA, E. L.; YADA, I. F. U.; AMARAL, H. F.; NAKATANI, A. S.; HUNGRIA, M.; DICK, R. P.; COYNE, M. S. Soil quality in relation to forest conversion to perennial or annual cropping in southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 39, n. 4, p. 1003-1014, 2015.

BANDICK, A. K.; DICK, R. P. Field management effects on soil enzyme activities. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 31, n. 11, p. 1471-1479, 1999.

BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. C. Agregação de Latossolo Vermelho Distrófico típico relacionada com o manejo na região dos cerrados no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 25, n. 1, p. 129-136, 2001.

- BRAIDA, J. A.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, A.; REICHERT, J. M. Matéria Orgânica e Seu Efeito na Física do Solo. In: KLAUBERG FILHO, O. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, n. 1, p. 221-278, 2011.
- CALDERON, F. J.; JACKSON, L. E.; SCOW, K. M.; ROLSTON, D. E. Microbial responses to simulated tillage in cultivated and uncultivated soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 32, n. 11-12, p. 1547-1559, 2000.
- COLMAN, B. A.; SALTON, J. C.; MERCANTE, F. M. Indicadores microbiológicos para avaliação da qualidade do solo em diferentes sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34. 2013, Florianópolis. Anais... Florianópolis: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013. p. 1-4.
- COSTA, E. A.; GOEDERT, W. J., SOUSA, D. M. G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, p. 1185-1191, 2006.
- COSTA, F. Z.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; FONTOURA, S. M. V. Aumento de matéria orgânica num Latossolo Bruno em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 587-589, 2004.
- CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; DIDONET, A. D.; FERREIRA, E. P. B.; MOREIRA, J. A. A.; LEANDRO, W. M. Chemical attributes of soil under organic production as affected by cover crops and soil tillage. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 10, p. 1021-1029, 2011.
- DADALTO, J. P.; FERNANDES, H. C.; TEIXEIRA, M. M.; CECON, P. R.; MATOS, A. T. Sistema de preparo do solo e sua influência na atividade microbiana. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 3, p. 506-513, 2015.
- DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. **Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo: método da fumigação-extração**. Seropédica-RJ: Embrapa Agrobiologia, 1997. 13p. (Documentos, 37).
- ESPÍNDOLA, J. A. A.; ALMEIDA, D. L. de; GUERRA, J. G. M.; SILVA, E. M. R. Flutuação sazonal da biomassa microbiana e teores de nitrato e amônio de solo coberto com *Paspalum notatum* em um agroecossistema. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 104-113, 2001.
- FERREIRA, A. C. C.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; EISENHAEUER, N. Land-Use Type Effects on Soil Organic Carbon and Microbial Properties in a Semi-arid Region of Northeast Brazil. **Land Degradation & Development**, Chichester, v. 27, n. 2, p. 171-178, 2016.
- FERREIRA, E. P. B.; STONE, L. F.; MARTIN-DIDONET, C. C. G. População e atividade microbiana do solo em sistema agroecológico de produção. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 48, n. 1, p. 22-31, 2017.
- FERREIRA, E. P. B.; WENDLAND, A.; DIDONET, A. D. Microbial biomass and enzyme activity of a Cerrado Oxisol under agroecological production system. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p. 899-907, 2011.

FREITAS, R. C. A.; POPIN, G. V.; MILOR, D. M. B. P.; SIGNOR, D.; DRUMOND, M. A.; CERRI, C. E. P. Soil Organic Matter Quality in *Jatropha* spp. Plantations in Different Edaphoclimatic Conditions. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 41, p. e0160218, 2017.

FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. O. A.; GUIMARÃES, C. M.; SILVA, C. A.; FADIGAS, F. S. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de latossolo do cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 26, n. 2, p. 425-434, 2002.

HERNANI, L. C.; ZANATTA, J. A.; SALTON, J. C. Efeito de raízes e cobertura morta de *B. ruziziensis* na matéria orgânica e na agregação de um Latossolo Vermelho Distroférrico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34, 2013, Florianópolis. Ciência do solo: para que e para quem? Programa & resumos: divisão III: uso e manejo do solo. Florianópolis: Epagri; [Viçosa, MG]: SBCS, 2013. v. 4, p. 3891-3894.

LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; SILVEIRA, A. O. D.; MARTINS, A. F.; SELBACH, P. A. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 36, n. 1, p. 33-43, 2012.

LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; ALOVISI, A. M. T.; CEZESMUNDO FERREIRA GOMES; ADRIANO SOARES GASPARINI; NUNES, C. M. Atributos Microbiológicos, Químicos E Físicos De Solo Sob Diferentes Sistemas De Manejo E Condições De Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 20 – 28, 2011.

MASCHERONI, J. D. C. **Características estruturais do dossel forrageiro e acúmulo de forragem de *Braquiaria brizantha* cv. Piatã submetido a regime de sombra em sistema de integração lavoura pecuária floresta**. 2015. 92 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) – Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2015.

MELERO, S.; MADEJON, E.; HERENCIA, J. F.; RUIZ, J. C. Effect of implementing organic farming on chemical and biochemical properties of an irrigated loam soil. **Agronomy Journal**, Madison, v. 100, n. 1, p. 136–144, 2008.

MENDES, I. C.; SOUSA, D. M. G. de.; JUNIOR, F. B. dos R.; LOPES, A. A. de C.; SOUZA, L. M. de.; CHAER, G. M. Bioanálise de solo: aspectos teóricos e práticos. **Tópicos em Ciência do Solo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 10, n. 1, p. 1-64, 2019.

MENDES, I. C.; SOUZA, L. V.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Propriedades biológicas em agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio convencional e direto no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, p. 435-443, 2003.

MERCANTE, F.M.; FABRICIO, A.C; MACHADO, L.A.Z.; SILVA, W.M. **Parâmetros microbiológicos como indicadores de qualidade do solo sob sistema integrados de produção agropecuária**. Dourados-MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2004. 27p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 20).

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.

OLIVEIRA, T. K.; MACEDO, R. L. C.; VENTURIN, N.; BOTELHO, S. A.; HIGASHIKAWA, E. M.; MAGALHÃES, W. M. Radiação solar no sub-bosque de sistema agrossilvipastoril com eucalipto em diferentes arranjos estruturais. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 1, p. 40-50, 2007.

OLIVEIRA, W. R. D. **Emissões de N₂O e atributos microbiológicos do solo em integração lavoura-pecuária-floresta**. 2015. 102 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Brasília-DF, 2015.

PACIULLO, D. S. C.; CASTRO, C. R. T. D.; GOMIDE, C. A. D. M.; FERNANDES, P. B.; ROCHA, W. S. D. D.; MÜLLER, M. D.; ROSSIELLO, R. O. P. Soil bulk density and biomass partitioning of *Brachiaria decumbens* in a silvopastoral system. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, n. 5, p. 598-603, 2010.

PEIXOTO, F. G. T. **Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos do Estado de São Paulo sob vegetação nativa e cultivados**. 2010. 69p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, Jaboticabal, 2010.

PIMENTEL, R. M.; BAYÃO, G. F. V.; LELIS, D. L.; SILVA, A. J. C.; SALDARRIAGA, F. V.; MELO, C. C. V.; MIRANDA, D. Ecofisiologia de plantas forrageiras. **PUBVET**, Maringá, v. 10, n. 9, p. 666-679, 2016.

POPPI, R. J.; SENA, M. M. de. Métodos quimiométricos na análise integrada de dados. In: FRIGHETTO, R. T. S.; VALARINI, P. J. Coords. **Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo**: manual técnico. 1. ed. Jaguariuna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p. 19-36. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 21).

RALISCH, R.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; TOMAZI, M.; HERNANI, L. C.; MELO, A. DA S.; SANTI, A.; MARTINS, A. L. DA S.; BONA, F. D. de. **Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo – DRES**. 64 p. il. – (Documentos / Embrapa Soja, ISSN 2176-2937; 390), 2017.

ROLDÁN, A.; SALINAS-GARCIA, J. R.; ALGUACIL, M. M.; DÍAZ, E.; CARAVACA, F. Soil enzyme activities suggest advantages of conservation tillages practices in sorghum cultivation under subtropical conditions. **Geoderma**, Amsterdam, v. 129, n. 3-4, p. 178-185, 2005.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; MENDES, I. C.; JÚNIOR, F. B. R.; SANTOS, J. C. F.; HUNGRIA, M. Biomassa Microbiana do Solo: Fração mais Ativa da Matéria Orgânica. pg 164. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006, p. 164.

SAATH, K. C. O.; FACHINELLO, A. L. Crescimento da Demanda Mundial de Alimentos e Restrições do Fator Terra no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 56 n. 2, p. 195-212, 2018.

SALTON, J. C, TOMAZI, M. **Sistema Radicular de Plantas e Qualidade do Solo**. Dourados-MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2014. 6p. (Comunicado Técnico 198).

SALTON, J. C. **Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical**. 2005. 158 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, 2005.

- SILVA, C. F. da.; PEREIRA, M. G.; MIGUEL, D. L.; FEITORA, J. C. F.; LOSS, A.; MENEZES, C. E. G.; SILVA, E. M. R. da. Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no médio Vale do Paraíba do Sul (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 36, n. 6, p. 1680-1689, 2012.
- SILVA, E. E. da.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. **Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo (BMS-C)**. Seropédica-RJ: Embrapa Agrobiologia, 2007. 6 p. (Comunicado Técnico, 98).
- SILVA, M. L. N.; BLANCANEUX, P.; CURI, N.; LIMA, J. M.; MARQUES, J. J. G. S. M.; CARVALHO, A. M. Estabilidade e resistência de agregados de Latossolo Vermelho-Escuro cultivado com sucessão milho-adubo verde. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 1, p. 97-103, 1998.
- SILVA, R. R.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. S.; CURI, N.; ALOVISI A. M. T. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes – MG. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, Campinas, v. 34, n. 5, p. 1586-1592, 2010.
- SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B.; SILVA, C. A.; BUZETTI, S. Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob cerrado submetido a diferentes sistemas de manejos e usos do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 3, p. 323-329, 2006.
- SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; LIMA, C. V. S.; CARVALHO, P. C. F.; MARTINS, A. P. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, v. 34, n. 1, p. 79-88, 2010.
- SPARLING, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indication of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v. 30, n.2, p.195-207, 1992.
- STIEVEN, A. C.; OLIVEIRA, D. A.; SANTOS, J. O.; WRUCK, F. J.; CAMPOS, D. T. S. Impacts of integrated crop-livestock-forest on microbiological indicators of soil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 9, n. 1, p. 53-58, 2014.
- TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER, R. W.; ANGLE, S.; BOTTOMLEY, P.; BEZDICEK, D.; SMITH, S.; TABATABAI, A.; WOLLUM, A. **Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties**. ed, Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 775-833.
- TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Arylsulphatase activity in soils. **Soil Science Society of America**, Madison, v. 34, n. 2, p. 225-229, 1970.
- VAN DEN BOSSCHE, A.; DE BOLLE, S.; NEVE, S.; HOFMAN, G. Effect of tillage intensity on N mineralization of different crop residues in a temperate climate. **Soil Tillage Reserch**, Amsterdã, v. 103, n. 2, p. 316-324, 2008.
- VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987.