

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE AGRONOMIA, MEDICINA VETERINÁRIA E
ZOOTECNIA

Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical

ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO EM SISTEMAS DE
INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO ECÓTONO CERRADO-
AMAZÔNIA

HEIRIANE MARTINS SOUSA

CUIABÁ – MT

2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE AGRONOMIA, MEDICINA VETERINÁRIA E
ZOOTECNIA

Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical

ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO EM SISTEMAS DE
INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO ECÓTONO CERRADO-
AMAZÔNIA

HEIRIANE MARTINS SOUSA

Bióloga

Orientadora: PROF^a. Dr^a. DANIELA TIAGO DA SILVA CAMPOS

Dissertação apresentada à Faculdade de Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal de Mato Grosso, para obtenção do título de Mestre em Agricultura Tropical.

CUIABÁ – MT

2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

FACULDADE DE AGRONOMIA, MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA

Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

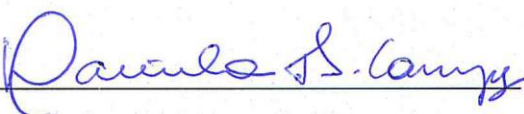
Título: ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO ECÓTONO CERRADO-AMAZÔNIA

Autora: HEIRIANE MARTINS SOUSA

Orientadora: PROF^a. DR^a. DANIELA TIAGO DA SILVA CAMPOS

Aprovada em 21 de fevereiro de 2014.

Comissão Examinadora:



Prof^a. Dr^a. Daniela Tiago da Silva Campos
(FAMEVZ/UFMT) (Orientadora)

Prof^a. Dr^a. Ana Maria Rodrigues
Cassiolato
(DFERS/UNESP)

Prof^a. Dr^a Ronilda Lana Aguiar
(AGRONOMIA/IFMT)

AGRADECIMENTOS

Aqui, gostaria de agradecer imensamente, **a todos** aqueles que de alguma forma contribuíram para que eu pudesse chegar até aqui, seja **diretamente** ou **indiretamente** na realização deste trabalho.

Primeiramente a **Deus**, pela graça concedida de ter muita saúde, para conseguir alcançar todos os meus objetivos. E sempre abriu as portas, me guiando, para que não perdesse o rumo do trilho, nessa caminhada terrena.

À **minha família** agradeço pelo apoio, principalmente nos momentos mais difíceis, os quais foram os momentos em que mais precisei.

À minha filha **Jordana Martins Rocha**, agradeço a Deus por ter te colocado em minha vida, pela oportunidade de sentir o amor mais sublime e incondicional. A ela dedico todas as minhas esperanças e minhas forças, a qual eu me propus a cada dia ser uma pessoa melhor.

À **Daniela Tiago da Silva Campos** agradeço pela orientação, apoio e paciência neste trabalho e nos momentos em que precisei. E bem como aos colaboradores: **Flávio Wruck**, **Antônio Damasceno “Toninho”**, **Pedro Hurtado** e **Eduardo Couto**.

A **todos do Laboratório de Microbiologia do Solo** que me acolheram e ajudaram, principalmente as estagiárias: **Amanda**, **Suzana** e **Bárbara**, que atuaram diretamente neste trabalho.

Agradeço também **a todos os professores do PPGAT** pela excelência em transmissão de conhecimento, **a todos os colegas de sala** pela companhia e ajuda, e a **Fundação Agrisus** e o **PPGAT** pelos recursos concedidos.

Bem... Se me esqueci de alguém, me perdoe! Meus neurônios ainda não se reconstituíram após essa dissertação! Aqui vai o meu... **Muito obrigada a todos!!!**

“O começo da sabedoria é encontrado na dúvida; duvidando começamos a questionar, e procurando podemos achar a verdade” (Pierre Abelard)

... Que tenhamos sabedoria para discernir essas “verdades”! Para que possamos fazer ciência para a sociedade!

ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO ECÓTONO CERRADO-AMAZÔNIA

RESUMO – O sistema de integração Lavoura-Pecuária (iLP), é uma alternativa de conservação dos recursos naturais. Sua característica principal é incluir culturas anuais e pastagens em uma mesma área, com objetivos de aumentar os lucros, manter e ou melhorar os atributos químicos, físicos e biológicos do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar os atributos microbiológicos do solo e sua resiliência, como indicadores de qualidade, em sistemas de integração Lavoura-Pecuária, no Ecótono Cerrado-Amazônia no estado de Mato Grosso. Amostras de solo, foram coletadas em 5 conformações de iLP, uma mata nativa e uma sucessão de culturas, no período de chuva, em duas épocas (2012 e 2013). Quantificou-se o: carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal (RB), quociente metabólico (qCO_2), atividade das enzimas β -glicosidase, fosfatase alcalina e ácida, urease, enumeração de micro-organismos celulolíticos, actinomicetos, bactérias e fungos do solo. Por meio da análise univariada dos dados, observou-se que as variáveis microbiológicas foram influenciadas pelos sistemas e épocas de coletas. A segunda época de coleta, em geral resultou-se em maiores resultados nos atributos microbiológicos. Os maiores teores de CBM foram observados nos sistemas com maior diversificação da matéria orgânica, como na mata nativa e em uma das iLP. Os sistemas modificaram a atividade das enzimas. Sendo que, algumas conformações de iLP se assemelharam com a mata, esta por sua vez, apresentou-se mais estável na produção de enzimas que os demais sistemas. As populações de micro-organismos foram afetadas pelos sistemas, mas diferentemente das enzimas, os resultados foram maiores em algumas das iLP do que no sistema referencial. Na análise multivariada, os sistemas apresentaram resultados homogêneos e se agruparam formando um grupo em 2012. Houve uma segregação destes sistemas em 2013, onde formaram 2 grupos com funções similares sobre as variáveis. A partir de um desses grupos foi possível identificar que a iLP C e iLP A foram os sistemas que mais assemelharam com a mata nativa, tal fato comprova que a integração Lavoura-Pecuária corrobora para com a melhoria e ou manutenção dos atributos microbiológicos. Os fatores climáticos tiveram alta influência sobre os resultados. A enzima β -glicosidase apresentou forte correlação sobre as demais enzimas. As variáveis microbiológicas analisadas isoladamente são sensíveis às alterações em função do uso do solo e do tempo, e são bons indicadores de qualidade do solo. A época de coleta influenciou os resultados microbiológicos. O sistema integrado de produção proporciona resiliência na estrutura e função da microbiota do solo, sendo uma ferramenta de manejo menos impactante e com maior capacidade de sustentabilidade do componente microbiológico do solo.

Palavras-chave: sustentabilidade do solo, qualidade microbiológica do solo, sistemas integrados de produção.

ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO ECÓTONO CERRADO-AMAZÔNIA

ABSTRACT – The Crop-Livestock (ILP) system integration is an alternative for the conservation of natural resources. Its main feature is to include annual crops and pastures in the same área, with goals to increase profits maintain and or improve the chemical, physical and biological soil properties. The objective of this study was to evaluate the microbiological soil properties and their resilience, as indicators of soil quality in crop-livestock systems in the Cerrado-Amazon Ecotone of Mato Grosso state. Soil samples were collected in 5 conformations of ILP, a native forest and a succession of crops during the rainy season, in two seasons (2012 and 2013). Was quantified: microbial biomass carbon (MBC), basal respiration (BR), metabolic quotient (qCO_2), activity of the enzymes β -glucosidase, alkaline and acid phosphatase, urease, enumeration of cellulolytic micro-organisms, actinomycetes, bacteria and soil fungi. Through univariate analysis, it was observed that the microbiological variables were influenced by systems and collection times. The second collection time generally resulted in higher results in microbiological attributes. The highest levels of the CBM were observed in systems with greater diversification and supply of organic matter, as in native forest and one of the ILP. The systems had modified the activity of enzymes, some conformations resembled ILP with native forest, this in turn, presented a more stable production of enzymes than other systems. Populations of micro-organisms were affected by the systems, but unlike enzymes, the results were higher in some of the ILP than in the reference system. In the multivariate analysis, the systems showed results homogeneous and were grouped forming a group in 2012. But there was a segregation of these systems in 2013, where they formed two groups with similar functions on the variables. From one of these groups could be identified that ILP-C and ILP-A were the systems that most resembled to the native forest, this fact proves that the Crop-Livestock Integration corroborates with the maintenance or improvement of the microbiological attributes. Climatic factors had a high influence on the results. The enzyme β -glucosidase showed a strong correlation over other enzymes. The microbiological variables are sensitive to changes in function of land use and time, and are good indicators of soil quality. The collection time influenced the microbiological results. The integrated production system provides resilience in the structure and function of soil microbes. And it is a tool of the least impactful soil management and greater ability to sustainability of soil microbiological component.

Keywords: soil sustainability, soil biological quality, integrated production systems.

LISTA DE TABELAS

	Página
1. Histórico dos cinco sistemas de integração Lavoura-Pecuária, uma mata nativa e uma área de sucessão de culturas, com descrições das culturas manejadas, em cada período do ano agrícola, no município de Santa Carmem, MT.....	23
2. Características químicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, na profundidade de 0-20 cm, sob cinco sistemas de integração Lavoura-Pecuária, uma mata nativa e uma área de sucessão de culturas (soja/milho), coletados em janeiro de 2012 e 2013, no município de Santa Carmem, MT	28
3. Carbono da biomassa microbiana, respiração basal e quociente metabólico do solo, sob cinco sistemas de integração Lavoura-Pecuária, uma mata nativa e uma área de sucessão de culturas (soja/milho), na camada de 0-20 cm, coletados em janeiro de 2012 e 2013, no município de Santa Carmem, MT	38
4. Atividade enzimática do solo, sob cinco sistemas de integração Lavoura-Pecuária, uma mata nativa e uma área de sucessão de culturas (soja/milho), na camada de 0-20 cm, coletados em janeiro de 2012 e 2013, no município de Santa Carmem, MT.....	43
5. População de micro-organismos cultiváveis do solo, sob cinco sistemas de integração Lavoura-Pecuária, uma mata nativa e uma área de sucessão de culturas (soja/milho), na camada de 0-20 cm, coletados em janeiro de 2012 e 2013, no município de Santa Carmem, MT	49

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	08
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1. Influências do Manejo do Solo Sobre a Microbiota	11
2.1.1. Sistema integração Lavoura-Pecuária	11
2.2. Qualidade do Solo	13
2.2.1. A microbiota do solo	14
2.3. Indicadores Microbiológicos do Solo	15
2.3.1. Biomassa microbiana do solo	15
2.3.2. Respiração basal	16
2.3.3. Quociente metabólico do solo	17
2.3.4. Atividade enzimática do solo	17
2.3.4.1. β -glicosidase	19
2.3.4.2. Fosfatases	19
2.3.4.3. Urease	20
3. MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1. Descrição das Áreas de Estudo	281
3.2. Caracterização do Solo e Clima	285
3.3. Coleta dos Solos	26
3.4. Caracterização Química do Solo	26
3.5. Atributos Microbiológicos do Solo	29
3.5.1. Carbono da biomassa microbiana, respiração basal e quociente metabólico do solo	29
3.5.2. Atividade enzimática do solo	32
3.5.3. População de micro-organismos do solo	34
3.6. Análise de Resultados	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
4.1. Atributos Microbiológicos do Solo	287

4.1.2. Carbono da biomassa microbiana, respiração basal e quociente metabólico do solo	37
4.1.3. Atividade enzimática do solo	42
4.1.4. População de micro-organismos do solo.....	48
4.2. Variáveis e Suas Correlações Lineares	52
4.3. Análise de Componentes Principais	52
5. CONCLUSÕES	57
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
7. APÊNDICES	68

1. INTRODUÇÃO

A demanda por alimentos e energia vem crescendo mundialmente em um ritmo progressivo e acelerado, uma vez que, segundo estimativas da ONU (Organizações das Nações Unidas), a taxa média de crescimento populacional mundial atingiu 1,17% ao ano (período de 2005 a 2010). Para atender essa demanda, o Brasil pode dar uma contribuição muito importante, por ser um grande produtor de grãos, carne e energia, e o Estado de Mato Grosso vem ganhando espaço nesse cenário (Anderson et al., 2003).

Frente a esta necessidade de produção, existe um consenso de que a produtividade agrícola deve ser sustentável no tempo e espaço. Neste contexto, o manejo dos solos agrícolas constitui um dos principais recursos a serem monitorados e conservados para atingir essa produção sustentável.

O solo é um recurso fundamental para a atividade agrícola, por isso merece atenção quanto a sua qualidade e sustentabilidade. O termo qualidade do solo evoluiu ao longo de décadas de estudo, partindo de concepções restritas, para uma visão interdisciplinar.

A preocupação em ampliar essa visão, deve-se a sincronia entre os componentes físicos, químicos e biológicos, por estarem intimamente associados. O componente biológico vem ganhando espaço ao longo dos anos, devido a sua importância no equilíbrio nos ciclos biogeoquímicos e conseqüentemente sobre o ecossistema.

Este componente, por sua vez, desenvolve funções no processo de transformação estrutural do solo, decomposição dos compostos orgânicos, ciclagem de nutrientes, produção primária e fluxo de energia do solo (Oliveira, 2006; Spera et

al., 2009) e em comparação entre os componentes, o biológico teve maior sensibilidade às alterações causadas por mudanças de uso e práticas de manejo do solo.

Essas alterações causadas por práticas de manejo, ao longo do tempo, podem levar a degradação do solo, com reflexos negativos tanto ambientais, sociais como econômicos. Por isso devem ser adotadas práticas no sentido de conservar o solo e o ambiente.

Nesse contexto, destacam-se as práticas como o sistema de plantio direto e a diversificação das atividades, por meio da integração Lavoura-Pecuária. Os sistemas integrados de produção têm se destacado como uma alternativa de sustentabilidade, com características de inclusão de culturas anuais e pastagens em uma mesma área, e objetivos de manter e/ou melhorar os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, bem como na recuperação de solos degradados (Souza et al., 2008).

Esses sistemas vêm ganhando merecida atenção no estado de Mato Grosso, por ser destaque na produção de carne e grãos no país. Sabe-se que estes sistemas melhoram os atributos microbiológicos do solo, porém não se têm acompanhamento do efeito residual ao longo do tempo gerado por estes sistemas, o que pode ser chamado de resiliência da microbiota do solo, conceituada como a capacidade de se manterem ao longo do espaço e tempo após um distúrbio.

Além disso, apesar do parâmetro biológico ser capaz de responder a alterações rápidas, a estimativa da qualidade do solo não é totalmente explicada se avaliada somente por este parâmetro. Os atributos físicos e químicos devem ser avaliados conjuntamente, uma vez que estes estão fortemente associados.

A partir deste princípio, estudos sobre a qualidade do solo têm se intensificado, a fim de se estimar valores desejáveis de índices de qualidade do solo (IQS), utilizando ambientes sem intervenção antrópica, em estado de equilíbrio, como padrão para avaliações de degradação do solo.

Porém, estes índices são restritivos a ambientes locais e ainda não são confiáveis para explicar a magnitude de um ecossistema. Assim as pesquisas estão evoluindo de forma isolada e classificada dentro de cada grande área: física, química e biológica, de modo a entender os processos dentro de cada uma delas, podendo então embasar melhor estes modelos de IQS, para futura modelagem, incluindo o componente biológico no mapeamento de áreas agrícolas.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar os atributos microbiológicos do solo e sua resiliência, como indicadores de qualidade, em sistemas de integração Lavoura-Pecuária, no Ecótono Cerrado-Amazônia no estado de Mato Grosso.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Influências do Manejo do Solo Sobre a Microbiota

O tipo de manejo do solo interfere diretamente nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (Carter, 1986). Essas interferências são promovidas principalmente pelas modificações na temperatura e umidade do solo, qualidade do resíduo vegetal depositado e atividade dos micro-organismos (Cattelan e Vidor, 1990).

O manejo do solo é fundamental para a atividade agrícola, porém existem alternativas viáveis para utilização sustentável dos recursos naturais como o solo e a água, baseadas em conservação, maximização do uso de recursos e a produção agropecuária. Nesse contexto, podem-se destacar práticas agropecuárias, tais como o sistema de plantio direto e a diversificação das atividades por meio da integração Lavoura-Pecuária (Alvarenga e Noce, 2005; Marchão, 2007; Martins et al., 2011).

2.1.1. Sistema de integração Lavoura-Pecuária

A adoção de sistemas conservacionistas de manejo do solo possibilita mais chances de se atingir um desenvolvimento sustentável no setor agropecuário (Carneiro et al., 2009). O sistema de integração Lavoura-Pecuária (iLP) têm se destacado por proporcionar maior estabilidade e sustentabilidade nesse setor (Souza et al., 2008), principalmente em solos de extrema fragilidade, como os de textura arenosa, visto que possibilita a manutenção e/ou melhoria nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo.

A qualidade do solo tem merecido destacada atenção, sobre tudo, a quantificação de alterações nos seus atributos, decorrentes da intensificação de sistemas de uso e manejo, têm sido amplamente realizadas para monitorar a produção sustentável dos solos (Neves et al., 2007).

A iLP é uma estratégia de produção sustentável, que integra as atividades agrícolas e pecuárias, em uma mesma área, seja em cultivo consorciado, sucessão ou rotacionado, e busca efeitos sinérgicos entre os componentes do agroecossistema (Alvarenga et al., 2006; Leite et al., 2010). Esses sistemas vêm ganhando merecida atenção no Estado de Mato Grosso, por ser destaque na produção de carne e grãos no país (Martins et al., 2011).

A associação do plantio direto ou cultivo mínimo à iLP, potencializa os benefícios ao sistema, como a conservação estrutural do solo, aumento da matéria orgânica, maximização de lucros em uma mesma área, recuperação de pastagens degradadas, e outros (kluthcouskl et al., 2003).

Neste contexto, a iLP visa aliar produtividade e conservação, atendendo a demanda da sociedade e despertando o interesse tanto do produtor, como da política nacional. O governo brasileiro se comprometeu a reduzir as emissões nacionais de CO₂ até 2020, para isso, está fomentando as iniciativas de adoção de sistemas iLP no Brasil, onde teriam uma contribuição estimada nessa redução de CO₂ em torno de 18 a 22 milhões de toneladas, com o comprometimento em incrementar em pelo menos quatro milhões de ha, com áreas operando neste tipo de sistema, explicado por Anghinoni et al. (2011).

Ainda segundo este autor, a FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) também considera o sistema iLP como uma alternativa sustentável para atender a demanda de alimentar 9 bilhões de pessoas em 2050. A FAO reconhece que os sistemas iLP, incrementam a resiliência ambiental, promovida pelo aumento da diversidade biológica, ciclagem de nutrientes, melhoria da qualidade do solo, provimento de serviços ecossistêmicos e contribuição para adaptação e mitigação das mudanças climáticas.

Contudo, há uma expectativa sobre o potencial dos sistemas de integração Lavoura-Pecuária, como uma alternativa de sustentabilidade do sistema solo-planta-animal, capaz de manter e ou melhorar os atributos do solo. Porém, os objetivos propostos pela iLP, somente serão atingidos se as interações sinérgicas ocorrerem, para isso, estudos críticos de avaliações conjuntas dos componentes químicos,

físicos e biológicos necessitam de informações dessa dinâmica e bem como do monitoramento das modificações no solo, para medidas mitigatórias.

2.2. Qualidade do Solo

O solo, por ser uma fonte de energia finita e um recurso fundamental para a atividade agrícola merece medidas de mitigação, com a finalidade de manter a sua qualidade e sustentabilidade (Spera et al., 2009). Esse termo “qualidade do solo” surgiu no final da década de 70, e por 10 anos se manteve associado ao conceito de fertilidade (Karlen et al., 2003), mas essa concepção evoluiu para uma visão mais ampla e interdisciplinar, de modo que não basta apenas o solo ter alta fertilidade, mas, também, é necessário possuir uma boa estruturação e uma diversidade de micro-organismos (Sposito e Zabel, 2003; Zilli et al., 2003).

Em meados da década de 90, a Sociedade Americana de Ciência do Solo, por meio do comitê *Ad Hoc* de qualidade do solo, conceituou o termo como “a capacidade de uma determinada classe de solo, dentro de um ambiente natural ou manejado, em manter a produtividade, sustentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde dos seres humanos, animais e plantas” (Janvier et al., 2007).

A qualidade do solo, em um ecossistema, compreende o equilíbrio entre os processos geológicos, hidrológicos, químicos, físicos e biológicos do solo (Bruggen e Semenov, 2000; Sposito e Zabel, 2003; Zilli et al., 2003).

Essa evolução do conceito de qualidade do solo, fez com que sua complexidade de avaliação fosse ampliada, uma vez que todos estes parâmetros estão intimamente associados, podendo ser avaliados por vários indicadores. Nos estudos de Zilli et al. (2003) avaliou-se a diversidade microbiana como indicador de qualidade do solo (IQS), estabeleceu as seguintes características ideais de um indicador de qualidade do solo: ser capaz de responder, de forma rápida e acurada, a um distúrbio no solo; refletir os aspectos do funcionamento do ecossistema; possuir processo de avaliação; ser economicamente viável. Ainda neste contexto, Visser e Parkinson (1992) mencionam que precisa ter uma distribuição universal e independente de sazonalidade.

Categoricamente, os indicadores de qualidade do solo, podem ser classificados como físicos, químicos e biológicos (Doran e Parkin, 1996; Snakin et al., 1996). Dentre estes, o biológico possui uma capacidade de responder rapidamente às alterações no solo, fornecendo informações rápidas sobre mudanças nas

propriedades do solo; detectar variações causadas por cultivos e manejos ou por devastação de florestas e outros (Araújo et al., 2012).

Os indicadores biológicos podem ser mensurados pela composição da microbiota e sua biomassa, da atividade metabólica e enzimática, para mitigação de possíveis estratégias de manejo conservacionistas do solo.

2.2.1. A microbiota do solo

A microbiota do solo é representada por cinco grandes grupos: bactérias, actinomicetos, fungos, algas e protozoários. Por condições de estresses abióticos e bióticos, apenas parte desses micro-organismos encontram-se em estado ativo, cerca de 15 a 30% das bactérias e 10% dos fungos. Esses micro-organismos vivos são denominados de biomassa microbiana, onde as bactérias e fungos respondem por cerca de 90% da atividade microbiana do solo (Siqueira e Franco, 1988).

O equilíbrio do solo depende da atividade de sua microbiota, uma vez que esta é, em parte, responsável pelo seu processo de transformação estrutural (Spera et al., 2009; Previati et al., 2012). Além disso, é extremamente importante na produção primária e fluxo de energia do solo (Oliveira, 2006), dentre os de interesses agrônômicos podem ser destacados: a decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes, transformações bioquímicas específicas (nitrificação, desnitrificação, oxidação e redução do enxofre), fixação biológica do nitrogênio, ação antagônica à patógenos, produção de substâncias promotoras ou inibidoras de crescimento de plantas (Silveira e Freitas, 2007).

Neste ambiente tão complexo, o solo e, conseqüentemente, a microbiota que nele habita, são influenciados continuamente por condições de umidade, temperatura, manejo, cultivos e precipitação (Cardoso e Freitas, 1992). Assim, em ecossistemas com sazonalidades definidas, podem ser observados nitidamente essas modificações na microbiota.

A avaliação desses micro-organismos pode ser estimada por métodos diretos e indiretos, gerando dados que representam a densidade, diversidade e ou atividade dos micro-organismos (Araújo et al., 2013; Sistla e Schimel, 2013). As técnicas de isolamento, por meio do uso de meios de cultura seletivos, permitem o crescimento e isolamento destes micro-organismos, porém representam apenas a comunidade cultivável do solo, sendo necessário outros parâmetros, como o conhecimento do estado da biomassa microbiana, a atividade respiratória do solo e o metabolismo

(Previati et al., 2012) que, avaliados em conjuntos, podem fornecer informações da atividade biológica do solo.

2.3. Indicadores Microbiológicos do Solo

2.3.1. Biomassa Microbiana do Solo

A biomassa microbiana do solo (BMS) é definida como o componente vivo da matéria orgânica do solo (Parton et al., 1987) e representa de 2 a 5% do carbono orgânico do solo. Ela é composta por bactérias, fungos, actinomicetos, protozoários e algas (Jenkinson e Powlson, 1976) e, geralmente, expressa em μg de C g^{-1} de solo seco ou mg de C kg^{-1} de solo seco.

A determinação da biomassa microbiana é avaliada pelo total de massa microbiana viva no solo, estimado com base na concentração de carbono microbiano, obtida por meio de amostras incubadas por um tempo determinado, utilizada como indicativo da condição biológica do solo (Jenkinson e Powlson, 1976).

Atualmente, entre os métodos mais utilizados para determinação do carbono da biomassa microbiana (CBM), pode se destacar: o clorofórmio fumigação-incubação (CFI) relatado por Jenkinson e Powlson (1976) e clorofórmio fumigação-extração (CFE) por Vance et al., (1987). O método de CFI é um método clássico na microbiologia, quando comparado o método CFE, Oliveira et al. (2001) constatou que ambos os métodos são apropriados para determinação do CBM em solos do cerrado sob cultivos e vegetação nativa. Assim a escolha do método irá depender, principalmente, da disponibilidade de materiais, reagentes, mão-de-obra e equipamentos disponíveis.

O método CFI é dividido em duas etapas, na primeira etapa, uma parte do solo é fumigada, com a finalidade de eliminar a microbiota da amostra. Após, essa amostra é reinoculada com uma pequena quantidade de solo vivo, e a parte do solo que foi fumigado bem como a matéria orgânica, oferecerá carbono prontamente para decomposição (Jenkinson e Powlson, 1976).

Na segunda parte, ainda segundo este mesmo autor, uma amostra fumigada e uma não fumigada, serão incubadas por um período conhecido, juntamente com uma solução base. O CO_2 emitido no processo respiratório será capturado, com posterior titulação da solução. A amostra fumigada é comparada com a não

fumigada, de maneira que a diferença entre as duas, e a razão entre a constante de mineralização (coeficiente de correção - Kc) do carbono, é proporcional ao carbono da comunidade microbiana do solo emitido em forma de CO₂.

Para constante de mineralização com incubação a 25 °C, foi assumida o valor Kc 0,45 (Anderson e Domsch, 1978; Siqueira et al., 1994), presumindo que apenas 45% da biomassa microbiana presente no solo é convertida a CO₂ durante os dias de incubação após a fumigação.

O método proposto por Jenkinson e Powlson (1976) baseia-se nos pressupostos: a fumigação do solo elimina a biomassa sem afetar a matéria orgânica do solo, de modo que o fluxo de carbono seja exclusivamente derivado da biomassa microbiana; a quantidade de micro-organismos mortos na amostra não fumigada é insignificante em relação à amostra fumigada.

A fração do carbono mineralizado na biomassa microbiana morta em um determinado período de tempo não difere em diferentes solos; a partir desse método, a biomassa microbiana pode ser mensurada, utilizando-a como IQS, uma vez que esta têm demonstrado respostas diferenciadas aos manejos agrícolas adotados em diferentes agroecossistemas (Cattelan e Vidor, 1990; Moreira e Siqueira, 2002), capaz de detectar essas modificações no solo antes mesmo que teores da matéria orgânica sejam alterados.

Apesar de a biomassa microbiana ser sensível a alterações de manejo do solo, esse atributo não fornece informações sobre a atividade da comunidade microbiana do solo, fazendo-se necessárias outras análises, como exemplo a respiração basal, o metabolismo e a produção de enzimas, o que permitem avaliar a atividade biológica do solo, indicando não somente a quantidade, mas bem como a qualidade da mesma.

2.3.2. Respiração basal

A respiração basal do solo é compreendida como a respiração sem adição de substratos orgânicos ao solo, e pode ser analisada pela emissão de CO₂ (Alef, 1995), que representa a oxidação da matéria orgânica pelos micro-organismos de metabolismo aeróbio. Ela indica a atividade metabólica e o estágio fisiológico da célula microbiana, como sendo influenciada por diversos fatores no solo (Renella et al., 2005).

A determinação do CO₂ emitido segue o mesmo princípio da análise da biomassa pelo método CFI, com captura deste gás por meio de uma base alcalina adicionada no frasco com o solo, incubados por um tempo determinado, com posterior titulação da solução (Atlas e Bartha, 2000).

Caetano et al. (2013) e Pezarico et al. (2013), que estudaram os IQS, utilizaram a respiração basal para complementar os resultados da biomassa microbiana. Essa informação inferiu o estado da atividade dessa comunidade. Além de expressar a qualidade da biomassa microbiana, a referida análise é considerada de execução simples, fácil e de baixo custo, se comparada a outros métodos de mesma finalidade, outra vantagem desta análise é que a mesma pode ser realizada conjuntamente com a análise da biomassa.

2.3.3. Quociente metabólico

O quociente metabólico (qCO_2) indica o metabolismo dos micro-organismos, por isso pode ser usado como indicador de estresse, perturbação e ou estabilidade de um ecossistema. É calculado por meio da razão entre o CO₂ evoluído e o CBM (De-Polli e Guerra, 1997; Silva et al., 2007).

Considerando a maior eficiência, quando se faz comparações de biomassa do solo, esta seria a que perderia menos carbono na forma de CO₂ com a respiração e incorporasse mais carbono aos tecidos microbianos (Reis-Junior e Mendes, 2007). Segundo Anderson e Domsch (1993), porém, esse parâmetro deve ser avaliado cuidadosamente, uma vez que qCO_2 elevados podem também indicar que as comunidades microbianas apresentam estágios iniciais de desenvolvimento, bem como um indicativo de estresse metabólico.

2.3.4. Atividade enzimática

As enzimas presentes no solo, em geral, são produzidas por micro-organismos, via intra e extracelulares. Por meio dessas vias, as enzimas catalisam reações e tornam disponíveis vários nutrientes no solo, beneficiando as plantas e os micro-organismos (Moreira e Siqueira, 2006).

Lisboa et al. (2012) explicam que devido a baixa concentração de enzimas no solo, as determinações são mensuradas em termos de atividade e não de quantidade. Neste contexto, a atividade é avaliada por meio da adição de um substrato específico para cada enzima, em uma concentração conhecida, onde

ocorrerá a ligação e, posteriormente, a quebra desse substrato, e com a incubação sob condições ótimas de pH e temperatura quantifica-se o produto (Tabatabai, 1994).

As enzimas extracelulares degradam macromoléculas insolúveis que compõem a matéria orgânica do solo (MOS) e detritos, transformando em moléculas solúveis menores para assimilação (Burns, 1982; Sinsabaugh, 1994; Wallenstein e Weintraub, 2008).

Esta despolimerização e solubilização é o passo inicial e limitante da velocidade de decomposição e mineralização de nutrientes. Desta maneira, a microbiota torna o carbono e outros nutrientes disponíveis da MOS, por meio da degradação de compostos orgânicos como a lignina, celulose, amido, lipídios, quitina e proteínas (Wallenstein e Weintraub, 2008).

A atividade das enzimas extracelulares no solo, para McDaniel et al. (2013) são consideradas gargalos nos processos de ciclagem, como o ciclo do carbono e disponibilização de nutrientes para as culturas. Uma análise da atividade enzimática pode fornecer informações da diversidade funcional da microbiota do solo e, conseqüentemente, a qualidade do solo (Dick et al., 1996).

Esta análise é muito influenciada por variações ambientais, como o manejo do solo, pH, temperatura, precipitação, composição da microbiota e outros. Segundo Carneiro et al. (2008) avaliando áreas com culturas anuais, pastagem, iLP e cerrado nativo, observaram o efeito do manejo sobre os atributos bioquímicos e bem como a atividade enzimática dos solos estudados. O cerrado apresentou os maiores valores para a enzima urease, quando comparados com as demais áreas, o que evidencia a influência do manejo e a sensibilidade desse parâmetro como indicador de impacto.

Os elementos carbono, fósforo e nitrogênio são fundamentais aos seres vivos e de grande importância às culturas agrícolas. O ciclo destes nutrientes é mediado pelas enzimas, do tipo hidrolases, como a β -glicosidase, fosfatases e urease (Roldán et al., 2003) o que demonstra a importância do estudo dessas enzimas no processo de ciclagem de nutrientes.

O desafio atualmente é entender o impacto gerado pelos diferentes sistemas de manejo sobre o funcionamento biológico do solo, principalmente em solos tropicais, como os do Cerrado (Carneiro et al., 2008), que necessitam de uma atenção maior, por apresentarem um alto índice de intemperismo e, a partir disso,

tomar medidas de mitigação, para tonar as atividades agrícolas menos impactantes ao agroecossistema.

2.3.4.1. β -glicosidase

Dentre as enzimas, a β -glicosidase catalisa a hidrólise de vários β -glicosídeos, com papel fundamental na ciclagem de nutrientes. É muito utilizada para mensurar a qualidade do solo por ser sensível a práticas de manejo (Gil-Sotres et al., 2005).

Na ciclagem de nutrientes, a β -glicosidase atua no ciclo do carbono (Dick et al., 1996). Esta enzima limita a taxa da degradação microbiana de celulose em glicose (Alef e Nannipieri, 1995), e é incluída na categoria das glicosidases, capaz de se ligar ao substrato *p*-Nitrophenyl- β -D-Glucoside (PNG), formando o produto *p*-Nitrophenol (Tabatabai, 1982; Eivazi e Tabatabai, 1988). Por meio da determinação da atividade desta enzima, pode-se avaliar o comportamento do ciclo do carbono, e a disponibilidade deste como fonte de energia.

2.3.4.2. Fosfatases

As fosfatases catalisam a hidrólise de fosfatos ésteres. São enzimas de ampla especificidade que atuam em diferentes substratos. Dentro das fosfatases, o grupo das fosfomonoesterases do solo tem sido bastante estudado, pois catalisam a hidrólise de fosfomonoésteres orgânicos de fósforo inorgânico. Sua classificação é feita de acordo com o pH ótimo de ação, nomeadas como fosfatases ácidas, neutras e alcalinas (Alef e Nannipieri, 1995), com destaque a primeira e a última por serem produzidas por micro-organismos do solo.

A fosfatase ácida, como já mencionada, é produzida por micro-organismos e animais do solo. Esta é responsável pela liberação do ânion PO_4 , que atua na mineralização de ésteres e anidridos de ácido fosfórico, responsável em parte no ciclo do fósforo no solo (Lisboa et al., 2012).

A fosfatase alcalina é sintetizada apenas por micro-organismos, com atividade predominante em solos alcalinos diferentemente da fosfatase ácida que prevalece em solos ácidos (Eivazi e Tabatabai, 1977), atuando na desfosforilação, que remove grupos fosfatos. Em geral catalisam a hidrólise de compostos fosfatados orgânicos, produzindo fósforo solúvel no solo. Contudo, tanto a fosfatase ácida como a alcalina desempenham papel importante na nutrição de plantas.

2.3.4.3. Urease

A enzima urease catalisa a reação de hidrólise da uréia para amoníaco e CO_2 . A partir da análise desta enzima no solo, inferências podem ser feitas, quando se avaliam efeitos da adição de resíduos vegetais e às práticas de adubações no solo (Dick et al., 1996).

Segundo Gill-Sotres et al. (2005), porém, a utilização apenas desta enzima para mensurar a qualidade do solo teria resultados limitados, devido à grande influência das práticas de adubações. Em estudos dos atributos químicos, físicos e biológicos de solos de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo, Carneiro et al. (2009) em seus resultados observaram que, no Neossolo, tanto a atividade da urease quanto a fosfatase ácida foram alteradas pelo manejo e uso do solo. Uma vez que a atividade destas enzimas foram mais elevadas em áreas sob cultivo de soja em plantio direto e integração agricultura pecuária, quando se comparados à demais áreas estudadas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição das Áreas de Estudo

As áreas de estudo localizavam-se no estado de Mato Grosso, no município de Santa Carmem, na Fazenda Dona Isabina, com coordenadas de 12° 03' 58" S e 55° 21' 07" O (Figura 1).

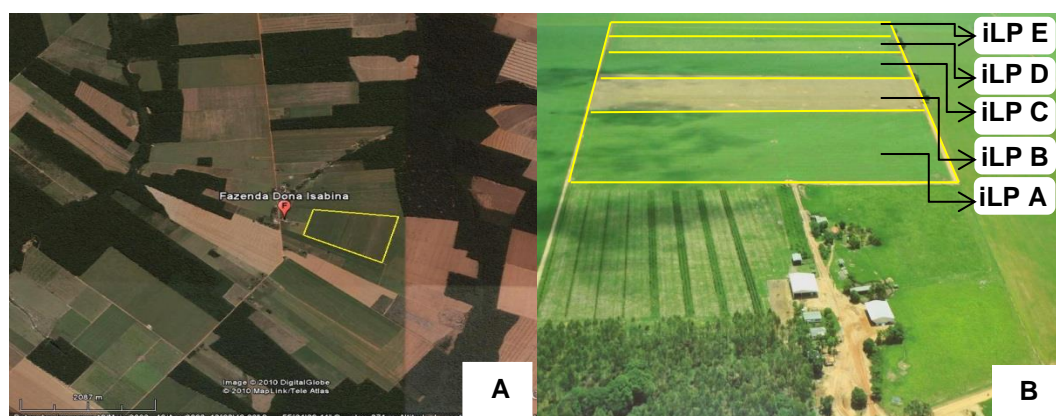


FIGURA 1. Localização da área de estudo. A - Imagem de satélite, em destaque a área total das integrações Lavoura-Pecuária; B - fotografia aérea da Fazenda Dona Isabina, destacando e identificando os 5 sistemas de iLP, localizadas no Município de Santa Carmem, Mato Grosso.

Fonte: WRUCK, 2013. Cenário atual da avaliação técnico econômica de ILPF no Mato Grosso, adaptado.

Estudou-se os solos sob uma Unidade de Referência Tecnológica (URT) instalada com cinco sistemas de iLP (Figura 1 B), planejados e conduzidos pela Embrapa Arroz e Feijão. Os sistemas de iLP (Tabela 1) foram estabelecidos em 2005, e conduzidos até setembro de 2012. Em seguida, estas áreas foram georeferenciadas, para continuidade dos estudos de monitoramento, onde

atualmente configuram-se com sucessão das culturas soja e milho safrinha.

Além destas áreas, estudaram-se duas áreas próximas a URT, uma área de mata nativa como referência e uma área de sucessão de culturas (soja/milho), em sistema de plantio direto, totalizando sete tratamentos avaliados.

A área na qual foi instalada a URT foi desmatada e queimada no ano de 1996 e, posteriormente, realizado o plantio de *Brachiaria brizantha*. O sistema de iLP foi conduzido desde a safra de 2005/2006 com diferentes modelos de sucessão de culturas entre verão e inverno. O histórico das áreas de estudo e a descrição dos tratamentos encontram-se na Tabela 1.

Na URT, implantou-se cinco diferentes sistemas de iLP, que consistiam em cinco módulos integrados de grãos: soja (*Glycine max*) cultivar precoce, milho (*Zea mays*), sorgo (*Sorghum bicolor*), milheto (*Pennisetum glaucum*) e arroz (*Oryza sativa*); consorciadas e ou rotacionadas com forrageiras: *Brachiaria ruziziensis*, *Br. brizantha* (cv. Marandu e cv. Piatã), *Crotalaria spectabilis* e *Stylosanthes spp.* (cv. estilosantes Campo Grande), manejados sob sistema plantio direto.







Nas cinco iLP, houve um manejo estratégico da pecuária de 2005 a 2012, onde ocorreu a pecuária de corte de bovinos da raça Nelore, machos, na fase de recria à pasto. Os animais entravam com 240 à 270 kg de peso vivo, e saíam com 450 à 480 kg de peso vivo, de acordo com o momento do mercado. A taxa de lotação era de 4 UA/ha⁻¹, no período chuvoso (neste período o gado entrava apenas em 2 iLP, total 40 ha) e 1,6 UA/ha⁻¹ no período de seca (neste período todas as cinco iLP se destinavam a pecuária, total 100 ha). Com essa distribuição o rebanho total permanecia inalterado (1,1 UA/ha⁻¹) entre os períodos de chuva e seca.

O pastejo era rotacionado na seca entre as iLP, com suplementação (mineral + resíduos da lavoura) e água. Com esse planejamento a produtividade se mantinha em aproximadamente 600 kg de peso vivo por ha/ano⁻¹.





O sistema de mata nativa utilizado como referência (sem intervenção antrópica), possuía características de Cerrado em transição com Floresta Amazônica, que pelos ecólogos é chamado de Ecótono Cerrado-Amazônia. Esse sistema em teoria reflete a condição inicial do solo.

Para os sete tratamentos, delimitou-se uma área de 20 ha cada, avaliados em 2012 e 2013 no período de chuvas na região (Tabela 1).

TABELA 1. Histórico dos cinco sistemas de integração Lavoura-Pecuária, uma mata nativa e uma área de sucessão de culturas, com descrições das culturas manejadas, em cada período do ano agrícola, no município de Santa Carmem, MT.

Sistemas	Período	2005/2006	2006/2007	2007/2008	2008/2009	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013
iLP/ A*	verão	Soja	Soja	Arroz	Soja	Marandu 	Marandu 	Soja	Soja
	inverno	Sorgo + <i>B. ruziziensis</i>	Milheto + <i>B. ruziziensis</i>	Sorgo + <i>B. ruziziensis</i>	Milho + marandu	Marandu	Marandu	Milho	
iLP/ B*	verão	Soja	Marandu 	Marandu 	Arroz	Soja	Soja	Arroz	Soja
	inverno	Marandu	Marandu	Marandu	Feijão	Milho + <i>B. ruziziensis</i>	<i>Crotalária</i> + <i>B. ruziziensis</i>	Milho	
iLP/ C*	verão	Arroz	Marandu 	Marandu 	Marandu 	Arroz	Soja	Soja	Soja
	inverno	Marandu	Marandu	Marandu	Marandu	Marandu (rebrotado)	Milho + <i>B. ruziziensis</i>	Milho	

Conti...

iLP/ D*	verão	Soja	Soja	Soja	Soja	Soja	Arroz	Piatã + estilosantes 	Soja
	inverno	Milho + <i>B. Ruziziensis</i>	Sorgo + <i>B. ruziziensis</i>	Milheto + <i>B. ruziziensis</i>	Milheto + <i>B. ruziziensis</i>	Milheto + <i>B. ruziziensis</i>	Piatã + estilosantes	Milho	
iLP/ E*	verão	Soja	Arroz	Soja	Soja	Piatã 	Piatã 	Piatã 	Soja
	inverno	Milheto + <i>B. ruziziensis</i>	Milho + piatã	Milho + piatã	Piatã	Piatã	Piatã	Milho	
Mata nativa	Verão								
	e	Mata intacta	Mata intacta	Mata intacta	Mata intacta	Mata intacta	Mata intacta	Mata intacta	Mata intacta
	inverno								
Sucessão	verão	Soja	Soja	Soja	Soja	Soja	Soja	Soja	Soja
	inverno	Milho	Milho	Milho	Milho	Milho	Milho	Milho	Milho

*Sistemas de integração Lavoura-Pecuária (iLP) indentificados como A; B; C; D e E, diferidos pelas culturas cultivadas, discriminadas em cada ano agrícola.



Presença de bovinos tipo nelore, na área.

Conti...

3.2. Caracterização do Solo e Clima

O solo da região, é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVd) segundo a classificação de solos Seplan-MT (2001). A textura do solo é argilosa, com teores médios de argila, silte e areia na camada de 0-20 cm, de 550, 68, e 398 g/kg⁻¹, respectivamente.

O clima da região segundo a classificação de Köppen é do tipo Aw, tropical chuvoso, quente e úmido, com uma estação seca mais prolongada e uma estação úmida de quatro meses, entre dezembro a março. A precipitação pluviométrica média anual é de 2000 mm, a temperatura média em torno de 24 °C, com vegetação caracterizada Floresta Semidecidual, de topografia plana e altitude de 367 m (Araujo et al., 2009).

Foram analisados os dados climáticos como: precipitação, umidade e temperaturas médias mensais, de junho de 2011 a janeiro de 2013, para observações das alterações climáticas cumulativas de 6 meses anteriormente as coletas.

Estes dados foram coletados por meio de uma estação meteorológica de superfície automática, composta de uma unidade de memória central ("data logger"), ligada a vários sensores dos parâmetros meteorológicos (precipitação, umidade relativa do ar e temperatura), que integra os valores observados minuto a minuto e a cada hora, calculados com médias mensais (Figura 2).

A estação automática está localizada em Sinop - MT, sendo a mais próxima da área de estudo, considerada representativa da influência climática nas áreas de estudos. Estes dados foram cedidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET.

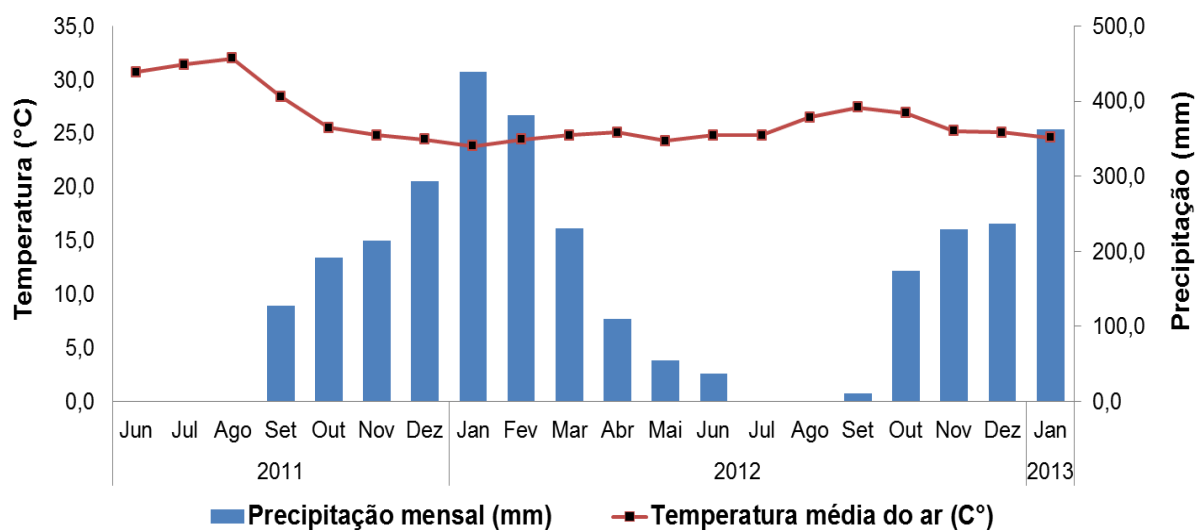


FIGURA 2. Climograma de Sinop, MT, gerado a partir das médias de precipitação e temperatura no período de junho/ 2011 a janeiro/ 2013. Fonte: Dados cedidos pelo INMET.

3.3. Coleta dos Solos

As coletas de solos foram realizadas no mês de janeiro nos anos de 2012 e 2013, período esse caracterizado de chuva na região. Com auxílio de um trado tipo Holandês, as amostras de solo deformadas foram coletadas na profundidade de 0-20 cm. Coletaram-se cinco amostras compostas (quatro amostras coletadas nas extremidades e uma ao centro do talhão), sendo que, cada amostra composta teve quatro subamostras, totalizando vinte pontos amostrais em cada área estudada.

O solo coletado foi homogeneizado, adicionado em sacos plásticos, devidamente identificados, acondicionados em caixas térmicas contendo gelo e transportados para ao Laboratório de Microbiologia do Solo da Faculdade de Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia na Universidade Federal de Mato Grosso, onde foram peneirados em peneiras de 2 mm de abertura da malha e armazenados em câmara fria a ± 4 °C até a execução das análises.

3.4. Caracterização Química do Solo

As análises químicas do solo foram realizadas em um laboratório particular, sob responsabilidade técnica de Ana Carolina Mazei Silva, portadora do CRQ: 16100099. Seguindo a metodologia da Embrapa (1999), os nutrientes P, K, Cu, Mn e Zn foram determinados pelo extrator Mehlich; Ca, Mg e Al pelo extrator KCl 1 mol/L

¹; H + Al pelo extrator de acetato de cálcio; B com o extrator água quente e S pelo extrator fosfato monocálcico em ácido acético. A soma de bases trocáveis (SB) foi determinada pela soma das bases K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} ; a Capacidade de Troca Catiônica (CTC) foi determinada pela soma das cargas negativas a pH 7,0; a matéria orgânica (MO) foi determinada pela oxidação com $Na_2Cr_2O_7$ 4N + H_2SO_4 10N. Os resultados das características químicas podem ser visualizados na Tabela 2.

TABELA 2. Características químicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, na profundidade de 0-20 cm, sob cinco sistemas de integração Lavoura-Pecuária, uma mata nativa e uma área de sucessão de culturas (soja/milho), coletados em janeiro de 2012 e 2013, no município de Santa Carmem, MT.

Sistemas	pH CaCl ₂	P -----mg/dm ³ -----	K	M.O. g/kg ¹	CTC cmolc/dm ³	V%	-----mg/dm ³ -----				
							S	B	Cu	Mn	Zn
2012											
iLP A	4,6	4,59	61	21,9	8,31	37,40	4,72	0,40	0,54	5,93	4,82
iLP B	4,6	1,57	65	16,3	6,80	27,90	4,08	0,40	0,40	2,85	2,01
iLP C	4,6	2,21	73	16,8	6,94	36,60	2,81	0,25	0,41	3,87	2,30
iLP D	4,8	2,29	153	16,5	6,99	39,90	3,19	0,28	0,44	3,82	1,96
iLP E	4,6	2,07	32	18,7	6,73	34,60	6,76	0,28	0,47	3,70	1,98
Mata nativa	3,8	0,06	23	24,8	8,51	4,80	3,44	0,36	0,37	4,34	0,25
Sucessão	4,9	1,93	60	18,0	7,87	39,00	3,06	0,35	0,44	4,94	1,18
2013											
iLP A	5,2	9,40	70	27,1	8,25	50,30	2,93	0,34	0,50	7,63	7,07
iLP B	4,8	5,95	83	23,7	8,20	37,80	4,34	0,35	0,53	5,32	6,01
iLP C	4,8	4,23	95	21,2	7,57	39,20	2,81	0,31	0,52	5,09	3,96
iLP D	4,8	4,66	109	20,1	7,41	39,30	2,17	0,26	0,57	4,74	3,14
iLP E	4,9	6,24	52	21,0	7,98	46,10	3,19	0,27	0,65	6,03	4,64
Mata nativa	4,0	0,06	29	33,3	10,91	7,40	4,34	0,38	0,51	5,34	1,08
Sucessão	5,1	3,72	99	27,4	8,78	46,50	3,32	0,37	0,34	8,47	2,09

3.5. Atributos Microbiológicos do Solo

Para determinação dos atributos microbiológicos foi necessário, inicialmente, determinar a umidade do solo. Por meio desta corrigiu-se o teor de umidade nas amostras de solo e, conseqüentemente, nas análises, cujos resultados serão expressos em grama (g) por solo seco.

Assim, o teor de umidade do solo, foi realizado por meio do método da umidade atual, onde as amostras de campo foram secas em estufa à 105 °C, por 48 horas, ao final o peso da água foi determinado pela diferença entre o peso da amostra fresca e seca (Embrapa, 1997).

3.5.1. Carbono da biomassa microbiana, respiração basal e quociente metabólico do solo

O CBM do solo foi realizado seguindo a metodologia de Jenkinson e Powlson (1976) por fumigação-incubação, adaptando-se de 100% para 50% as proporções originais, realizados em sextuplicatas para cada amostra que foi retirada do campo. Inicialmente as amostras de solo foram corrigidas para 50% da capacidade de campo para dar início ao processo de fumigação.

Para a fumigação, de cada amostra, retirou-se 23 g em sextuplicatas pesadas em béquers de 50 mL, os quais foram fumigados em dessecador (forrado com papel toalha e umedecido com água destilada) contendo ao centro um béquer com 20 mL de clorofórmio. Após distribuir todas as amostras no dessecador, aplicou-se vaselina sólida nas bordas da tampa, e por meio do aparelho de bomba de vácuo, vedou-se o dessecador a pressão de 700 mm Hg. Após fechou-se a tampa do dessecador e retirou-se a bomba, deixando em processo de fumigação por 48 horas à temperatura de ± 28 °C.

Após o período de fumigação, o dessecador foi submetido a vácuo com bomba de ar por 10 seções à uma pressão de 600 mm Hg, para evacuação completa do clorofórmio, evitando assim uma fonte extra de carbono na amostras. Abriu-se o dessecador e retiraram-se as amostras fumigadas. O solo das amostras fumigadas (23 g) foi adicionado em frascos herméticos, após inoculou-se nessas amostras fumigadas, 2 g de solo da mesma amostra (parte viva do solo), estes foram homogeneizados.

Paralelamente ao processo de fumigação, prepararam-se as amostras não fumigadas, onde em frascos herméticos adicionaram-se 25 g de solo (amostras não

fumigadas), em triplicatas. Essas amostras não-fumigadas foram utilizadas para desconto no cálculo do CBM.

Dê posse das amostras fumigadas e não fumigadas, prosseguiu-se então ao preparo destas para incubação. Adicionaram-se nos frascos herméticos contidos as amostras fumigadas, não-fumigadas e controles (frasco hermético sem solo), um tubo contendo 20 mL de hidróxido de sódio (NaOH) 0,5 mol L⁻¹. Após, os frascos foram vedados com filme plástico (parafilme) e posteriormente fechados com a tampa do frasco. Estes foram incubados por cinco dias, no escuro à temperatura de ± 28 °C.

As amostras após incubação, foram submetidas à titulação do NaOH. Retirou-se os 20 mL de NaOH, adicionou-se em erlenmeyers 150 mL, seguidos de 3 mL da solução saturada de BaCl₂ à 30% e 3 gotas de fenolftaleína à 1% (indicador), sob agitação constante da solução, adicionou-se aos poucos HCl 0,3 mol L⁻¹, até que a cor da amostra mudasse de rosa para branco. Anotou-se o volume de HCl gasto para titular a amostra. Este processo foi repetido com todas as amostras, fumigadas, não-fumigadas e controles.

Após a titulação do NaOH, por meio do HCl gasto, calculou-se a quantidade de C liberado na forma de CO₂ (ug g⁻¹ solo seco) pelas amostras fumigadas e não fumigadas, e os cálculos foram efetuados segundo Alef e Nannipieri (1995), pela fórmula (1):

$$\text{CO}_2 - \text{C} = \frac{(\text{B} - \text{A}) \times \text{Mol HCl} \times 6 \times \text{Prop. NaOH}}{\text{Massa de solo seco}} \quad (1)$$

Onde Carbono liberado na forma de CO₂ (CO₂ - C):

B = volume de HCl (mL) gasto na amostra controle (branco);

A = volume de HCl (mL) gasto na amostra (Fumigada e Não- fumigada);

Mol HCl = Molaridade exata do HCl utilizado na titulação;

6 = peso equivalente para expressar os dados como carbono;

Prop. NaOH = proporção do volume total de NaOH incubado com o utilizado para titular.

Carbono da biomassa microbiana do solo

O carbono da biomassa microbiana (µg C g solo seco⁻¹) foi calculado a partir

da fórmula proposta por Jenkinson (1988), dada na fórmula (2):

$$\text{CBM} = \frac{(\text{C fumigado} - \text{C não-fumigado})}{Kc} \quad (2)$$

Onde Carbono da Biomassa Microbiana do Solo:

C fumigado = CO₂ – C liberado nas amostras fumigadas;

C não-fumigado = CO₂ – C liberado nas amostras não-fumigadas;

Kc = 0,45 constante de mineralização da biomassa morta convertida em CO₂, durante os 5 dias de incubação, após a fumigação.

Respiração Basal

Os valores para a respiração basal do solo (µg C-CO₂ g solo seco⁻¹) foram obtidos por meio da fórmula (3) (Jenkinson e Powlson 1976):

$$\text{RB} = \frac{(\text{C branco} - \text{C não-fumigada}) \times \text{Mol. HCl} \times 6 \times \text{Prop. NaOH}}{\text{Massa de solo seco}} \quad (3)$$

Onde Respiração Basal do Solo (RB):

C branco = Carbono da amostra controle (branco);

C não-fumigada = Carbono da amostra não-fumigada;

Mol. HCl = Molaridade exata do HCl utilizado na titulação;

6 = Peso equivalente para expressar os dados como carbono;

Prop. NaOH = Proporção do volume total de NaOH incubado com o utilizado para titular.

Quociente metabólico - qCO₂

Para a determinação do qCO₂ (µg C-CO₂ µg C-BMS⁻¹), utilizou-se a fórmula (4) (Anderson e Domsch, 1993):

$$q\text{CO}_2 = \frac{\text{RB}}{\text{CBM}} \quad (4)$$

Onde o quociente metabólico do solo (qCO₂):

RB = Respiração Basal do Solo;

CBM = Carbono da Biomassa Microbiana do solo.

3.5.2. Atividade enzimática

A atividade das enzimas fosfatases ácida e alcalina, β -glicosidase, e urease do solo, foram determinadas, seguindo as metodologias de Tabatabai e Bremner (1969) para as duas primeiras, Tabatabai (1982), Kandeler e Gerber (1988) para as demais respectivamente, com adaptações sofridas nas proporções, de redução em 50 % dos reagentes e no peso amostra de solo, sendo que para a urease, a redução foi de 90 %, além de outras adaptações, que estão descritas na metodologia respectiva a seguir.

De acordo com Tabatabai e Bremner (1969), o princípio do método para determinar as fosfatases ácida e alcalina, é baseado na determinação do *p*-nitrofenol produzido após a incubação da amostra de solo com o substrato *p*-nitrophenyl phosphate por 1 hora a 37°C. Partindo desse princípio, em tubos de ensaio com 0,5 g de solo foram adicionados: 0,125 mL de Tolueno; 2 mL de solução tampão universal modificada (Modified Universal Buffer-MUB) em pH 6,5 para a fosfatase ácida e pH 11 para a fosfatase alcalina; 0,5 mL *p*-nitrophenyl phosphate 15 mM (diluído no MUB com pH correspondente a enzima desejável), posteriormente agitados em vórtex e incubados a 37°C por 1 hora.

Após a incubação, na finalidade de paralisar a ação do substrato, as amostras foram colocadas em caixas térmicas com gelo seco, após a paralização da ação enzimática, iniciou-se a extração do *p*-nitrofenol do solo, com a adição de: 0,5 mL de CaCl_2 (0,5 M); 2 mL de NaOH (0,5 M), seguindo com agitação em vórtex e posterior filtragem da suspensão em papel filtro Whatman n° 2v. Imediatamente, o filtrado com típica coloração de amarelo translúcido, foi mensurado por meio de espectrofotômetro em absorbância a 400 nm.

Esse processo foi realizado em triplicatas de cada amostra de campo, e para as amostras controles, seguiu-se o mesmo processo descrito anteriormente, porém, nessas amostras não foi adicionado o solo. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro, onde, a partir do mensurado na amostra controle, fez-se às leituras das demais amostras, já descontando o absorvido dos reagentes.

A concentração de *p*-nitrofenol produzido foi estimado a partir de uma curva padrão com os níveis de 0; 2; 4; 6, 8, 10 e 12 μg *p*-nitrofenol mL^{-1} (com $R^2 > 0,92$, na regressão linear), após, os resultados foram expressos em μg *p*-nitrofenol g^{-1} solo

seco h^{-1} , por meio da fórmula (5) (Tabatabai e Bremner, 1969):

$$p\text{-nitrofenol } (\mu\text{g g}^{-1} \text{ solo seco h}^{-1}) = \frac{C \times v}{dwt \times Sw \times t} \quad (5)$$

Onde o *p*-nitrofenol produzido em $\mu\text{g g}^{-1}$ solo seco h^{-1} :

C = Concentração de *p*-nitrofenol mensurado com base na curva padrão;

v = Volume total da suspensão em mililitros;

dwt = Peso seco da amostra;

Sw = Peso úmido da amostra utilizada (0,5 g);

t = Tempo de incubação em horas.

A partir dos resultados expressos pela fórmula, devido a adaptação sofrida nas proporções, estes resultados foram multiplicados por dois, a fim de se estimar a produção enzimática em 1 g de amostra de solo.

Para a β -glicosidase, o princípio do método segundo Tabatabai (1982) é baseado na determinação do *p*-nitrofenol produzido após a incubação da amostra de solo com o substrato *p*-nitrophenyl β -D-Glucoside por 1 hora a 37°C. Neste contexto, a partir de amostras com 0,5 g de solo, adicionou-se 0,125 mL de Tolueno; 2 mL de MUB pH 6,0; 0,5 mL de *p*-nitrophenyl β -D-Glucoside 25 mM (diluído no MUB pH 6,0); com posterior agitação em vórtex, seguindo de incubação por 1 hora a 37°C.

Após a incubação, o *p*-nitrofenol produzido foi extraído do solo com a adição de: 0,5 mL de CaCl_2 (0,5 M); 2 mL de Tris buffer pH 12, seguindo com agitação em vórtex e posterior filtragem da suspensão em papel filtro Whatman n° 2v. A coloração do filtrado foi mensurada em espectrofotômetro em absorbância a 400 nm, a curva de calibração e os cálculos dos resultados, seguiu-se o mesmo processo descrito anteriormente para as fosfatases, uma vez que o produto final é o mesmo, ou seja, *p*-nitrofenol.

A urease seguiu-se o princípio da determinação colorimétrica de amônia, produzida a partir da incubação de amostras de solo com solução de uréia por 2 horas a 37°C (Kandeler e Gerber, 1988), com adaptação no tempo de incubação para 1 hora, realizada em amostras triplicatas.

No procedimento desta análise, em tubos de ensaio contendo 0,5 g de amostras solo, adicionou-se: 0,25 mL de solução de uréia (4,8 g/L H_2O destilada); agitados rapidamente em vórtex, seguindo de incubação por 1 hora a 37°C. Após a

incubação, adicionou-se 0,5 mL KCl (1 M), com posterior agitação em agitador orbital por 30 minutos.

A filtragem da suspensão foi adaptada por centrifugação a 4000 rpm por 10 minutos, após, por meio de pipeta automática, retirou-se 1 mL do sobrenadante e adicionou-se em outro tubo, neste adicionou-se: 1 mL de água destilada; 3 mL de solução de colorimetria (composta de duas soluções na proporção de 1:1, sendo a solução de salicilato = 1,25 g de ácido salicílico completando o volume para 100 mL com solução de NaOH 0,3 M; e a solução de nitroprussiato de sódio = 0,5 g nitroprussiato de sódio em 100 mL de H₂O destilada); e 2 mL de solução de ácido dicloroisocianúrico 1 % (0,1 g ácido dicloroisocianúrico em 100 mL de H₂O destilada), deixando em repouso por 30 minutos para posterior leituras em espectrofotômetro a 690 nm de absorbância.

Para as leituras e amostras controles, seguiu-se o mesmo critério descrito nas fosfatases, onde as leituras são iniciadas pelas amostras controles (sem adição de solo).

A concentração de amônia produzida foi estimada a partir de uma curva padrão com os níveis de 0; 1; 1,5; 2 e 2,5 µg NH₄-N ml⁻¹ (com R² >0,90, na regressão linear), esses resultados os valores foram expressos em µg NH₄-N g⁻¹ solo seco h⁻¹, por meio da fórmula (6) (Kandeler e Gerber, 1988):

$$\text{Atividade da urease } (\mu\text{g NH}_4\text{-N g}^{-1} \text{ solo seco h}^{-1}) = \frac{C \times v \times f}{dwt \times Sw} \quad (6)$$

Onde atividade da urease produzida em µg NH₄-N g⁻¹ solo seco h⁻¹:

C = Concentração de µg NH₄-N ml⁻¹ mensurado com base na curva padrão;

v = Volume total do extrato em mililitros;

f = fator de diluição da amostra

dwt = Peso seco da amostra;

Sw = Peso úmido da amostra utilizada (0,5 g);

t = Tempo de incubação em horas.

3.5.3. População de micro-organismos do solo

Inicialmente realizou-se a diluição seriada a partir de suspensões de solo, seguindo a metodologia descrita em Wollum (1982). Após a diluição, prosseguiu-se com a inoculação, onde os micro-organismos do solo foram cultivados em meios de

cultura específicos, sendo eles: ágar nutriente, batata dextrose e ágar (BDA), extrato de solo e meio preconizado por Pramer e Schmidt (1964), para a quantificação do número de unidades formadoras de colônias (UFC) de respectivamente: bactérias, fungos, actinomicetos, e micro-organismos celulolíticos, cultiváveis por g solo⁻¹.

Através de testes preliminares, determinaram-se as diluições desejáveis para as contagens, com resultados que abrangesse n° de UFC entre 30 e 300. Adotaram-se então as diluições: (-4) para bactérias, micro-organismos celulolíticos e actinomicetos, e (-2) para fungos, para então, posterior inoculação, realizadas em sextuplicatas para cada amostra de campo.

Após as inoculações, as placas foram incubadas em BOD, à temperatura de 28 °C, com leituras de UFC realizadas após 24 h para bactérias, 48 h para fungos, cinco dias para micro-organismos celulolíticos e actinomicetos.

Os valores obtidos a partir da contagem direta das colônias foram transformados em unidades formadoras de colônias por grama (UFC/g), conforme a fórmula (7):

$$\text{N}^\circ \text{ UFC} = a \times 10^b / \text{AL } (\mu\text{l}) = \text{UFC/g} \quad (7)$$

Onde:

N° UFC = Número de Unidades Formadoras de Colônias

a = os dois primeiros algarismos significativos da contagem visual, números de 0 a 9

b = expoente da diluição (0 a 10)

AL = alíquota de inoculação (200 µl)

UFC = unidade formadora de colônias

g = grama

3.6. Análise dos Resultados

As análises estatísticas foram realizadas em duas etapas. A primeira delas analisou-se os 11 atributos microbiológicos do solo de forma individual, por meio da análise univariada, com o objetivo de identificar as diferentes respostas de cada variável dentro dos sistemas e épocas avaliadas. Os dados foram submetidos à análise de variância, em delineamento inteiramente casualizado, com sete tratamentos e três repetições, e médias comparadas pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade, analisados pelo programa Assistat, versão 7.6, beta, 2011 (Silva e Azevedo, 2002).

A segunda etapa das análises, consistiu no emprego da análise de componentes principais (PCA), para analisar as inter-relações entre as 11 variáveis microbiológicas e as 3 variáveis climáticas, o que compôs uma matriz com o total de 14 fatores. Após isso, identificaram-se as dimensões isoladas da estrutura dos dados, com avaliações do grau em que cada variável é explicada por cada fator.

Posteriormente, os eixos de referência dos fatores foram rotacionados em torno da origem até que alguma posição seja alcançada, de acordo com o método varimax de rotação ortogonal dos fatores (Reis, 2001).

A determinação dos fatores foi realizada por meio da técnica de raiz latente, segundo Hair Jr et al. (2005). A matriz de cargas fatoriais, que mede a correlação entre os fatores comuns e as variáveis observáveis, foi determinada por meio da matriz de correlação, conforme Jolliffe (2002). Estas análises foram realizadas no software SPSS 19 (Spss, 2010), utilizando às médias dos valores das três repetições de cada tratamento.

Os gráficos de dispersão foram montados entre os componentes 1 e 2 e também entre os componentes 1 e 3, estes mostraram a distinção ou não entre os sistemas de uso da terra e as épocas de amostragem.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Atributos Microbiológicos do Solo

4.1.2. Carbono da biomassa microbiana, respiração basal e quociente metabólico do solo

Observaram-se respostas diferenciadas nos resultados dos atributos microbiológicos nos diferentes sistemas e épocas avaliados. Na Tabela 3 encontram-se os resultados do CBM, da respiração basal e qCO_2 .

Em 2012 os maiores valores de CBM foram encontrados no sistema de iLP D, já em 2013 foram a iLP A e a mata, que não diferiram estatisticamente. Na respiração basal, não houve diferença estatística entre os sistemas no ano de 2012, diferentemente de 2013, em que os sistemas iLP A, iLP C e mata nativa, não diferiram estatisticamente e, nos quais, observaram-se os maiores valores (Tabela 3).

O qCO_2 foi maior na iLP A em 2012, no ano seguinte, não houve diferença estatística entre os sistemas. Em geral o CBM, respiração basal e o qCO_2 , tiveram maiores valores em 2013 (Tabela 3).

TABELA 3. Carbono da biomassa microbiana, respiração basal e quociente metabólico do solo, sob cinco sistemas de integração Lavoura-Pecuária, uma mata nativa e uma área de sucessão de culturas (soja/milho), na camada de 0-20 cm, coletados em janeiro de 2012 e 2013, no município de Santa Carmem, MT.

Sistemas	CBM		Respiração Basal		qCO_2	
	$\mu\text{g C g}^{-1}$ solo seco 2012	$\mu\text{g C g}^{-1}$ solo seco 2013	$\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1}$ solo seco h^{-1} 2012	$\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1}$ solo seco h^{-1} 2013	$\mu\text{g CO}_2 \mu\text{g C mic dia}^{-1}$ 2012	$\mu\text{g CO}_2 \mu\text{g C mic dia}^{-1}$ 2013
iLP A	47,24 c	761,80 a	255,97 a	405,25 a	5,82 a	0,53 a
iLP B	204,09 b	266,63 d	193,04 a	63,26 c	0,94 c	0,28 a
iLP C	86,93 c	607,68 b	215,15 a	351,63 a	2,62 b	0,58 a
iLP D	776,69 a	476,28 c	214,30 a	134,19 c	0,28 c	0,28 a
iLP E	130,39 c	221,33 d	162,42 a	246,53 b	1,34 c	1,89 a
Mata nativa	179,53 b	778,76 a	241,51 a	417,71 a	1,44 c	0,54 a
Sucessão	289,13 b	311,99 d	204,09 a	101,06 c	0,71 c	0,44 a
CV (%)	27,77	26,26	20,67	22,05	60,82	67,85

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

O elevado teor de CBM apresentado pela iLP D em 2012, pode ser explicado devido a quantidade de culturas anuais nesta área. Em seu histórico foi utilizada nos primeiros cinco anos, uma cultura anual (leguminosa) no verão e duas gramíneas consorciadas (milho, sorgo ou milheto + *Brachiaria ruziziensis*) no inverno, com mudança apenas no ano agrícola de 2010/2011 para uma gramínea (arroz) no verão e uma gramínea e leguminosa no inverno (piatã + estilosantes).

Neste contexto, ao longo do histórico da iLP D, essa área sempre esteve com três culturas diferentes ao longo de cada ano agrícola, essa diversificação de culturas em uma mesma área, proporcionaram diferentes fontes de exsudatos liberados e bem como diferentes fontes de matéria orgânica para serem metabolizados e decompostos pela microbiota do solo. Com isso aumentou a fonte de carbono, o que pode ter favorecido o desenvolvimento da biomassa microbiana do solo.

Chavéz et al. (2011) em seu estudo sobre diversidade metabólica e atividade microbiana de solos sob iLP, explica que essa diversidade de espécies vegetais, proporcionam maiores quantidades de diferentes substratos (exsudatos liberados pelas plantas) que são utilizados pela microbiota do solo como fonte de carbono, o que pode ser observado nos resultados da mata nativa em 2013.

Por outro lado, Avarenga e Noce (2005) mencionam que o acúmulo de palhada e raízes, proporcionado pela pastagem, tende a acarretar aumento da matéria orgânica do solo, proporcionando mais fonte de carbono para os micro-organismos. Neste sentido, avaliando a quantidade de matéria orgânica na iLP D em 2012, com $16,5 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabela 2), não foi o fator responsivo para que houvesse esse aumento no CBM, uma vez que a iLP A e a mata, tiveram os maiores valores de matéria orgânica ($21,9$ e $24,8 \text{ g kg}^{-1}$; Tabela 2), respectivamente e, ao contrário, não tiveram os maiores valores de CBM.

Observações similares foram relatados por Mendes e Vivaldi (2001) em um Latossolo Vermelho sob Cerrado, e Araújo et al. (2007) com Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob Cerrado, os quais observaram que, entre a matéria orgânica e os teores de CBM, as relações são estreitas ou nulas, o que demonstra pouca ou nenhuma dependência das respostas do CBM quanto à matéria orgânica.

Em 2013 na iLP A e a mata nativa encontrou-se os maiores valores de CBM ($761,80$ e $778,76 \mu\text{g C g}^{-1}$ solo seco, respectivamente). Resultados similares foram obtidos por D'Andréa et al. (2002), Cardoso et al. (2009) e Silva et al. (2010), os

quais observaram os maiores valores de CBM na vegetação nativa, e atribuem esse resultado, devido ao maior aporte contínuo e variado de substratos orgânicos, advindos da diversidade de espécies existentes nesta vegetação, bem como, com diferentes graus de suscetibilidade à decomposição.

Martins et al. (2011), que avaliaram quatro áreas deste mesmo estudo, sendo a iLP A, iLP B, iLP C e a mata nativa, além de um sistema de milho convencional, observaram que o CBM e a RB apresentaram os maiores valores na iLP B, na camada de 0 – 20 cm, superiores até mesmo que os da mata. Estes resultados foram oriundos de uma coleta em abril de 2009. Em comparação, aos valores de CBM do presente estudo, os valores de CBM foram maiores que os dos citados autores, o que se deve à estabilidade adquirida ao longo dos anos nestes sistemas.

Ainda neste mesmo contexto, os resultados diferem quanto aos sistemas, onde os maiores valores do CBM foram obtidos na iLP D em 2012 e na iLP A e na mata nativa em 2013, diferentemente aos de Martins et al. (2011) obtidos na iLP B em 2009. Tais resultados, demonstram que o sistema iLP proporcionou modificações positivas neste atributo do solo, onde se mantém semelhantes e até mesmo melhor do que a mata nativa.

Na RB do solo, foram notadas diferenças significativas entre os sistemas somente em 2013, onde os sistemas iLP A, iLP C e a mata nativa apresentaram os maiores valores. Apesar de estes sistemas terem perdido muito carbono na forma de respiração, quando analisando o CBM incorporado (Tabela 3), houve uma incorporação em elevada quantidade, o que pode estar associado à quantidade e a qualidade dos substratos disponíveis.

Além disso, a taxa de respiração basal do solo, para Tótola e Chaer (2002), também está relacionada com a maior atividade biológica, a qual é diretamente proporcional à fração de carbono lábil no solo.

Ao compararmos diferentes biomassas microbianas, quanto a sua eficiência, Insam e Domsch (1988) consideraram que a biomassa mais eficiente seria aquela que perdesse menos carbono na respiração e incorporasse mais à suas células. Assim, neste estudo, o sistema de iLP D se destacou, por ter incorporado maior quantidade de CBM e perdido menos pela respiração basal do solo.

Essa consideração sobre a BMS mais eficiente, também foi relatada por Caetano et al. (2013) e Pezarico et al. (2013), que estudaram indicadores de qualidade do solo, os mesmos enfatizam a importância da utilização da RB para

complementar os resultados da biomassa microbiana, para posteriormente inferir sobre o estado da atividade e a qualidade da BMS.

Outro fator a ser considerado sobre a qualidade da biomassa microbiana é o qCO_2 . Para alguns autores (Carneiro et al., 2008; Silva et al., 2010; Gomide et al., 2011; Melloni et al., 2013), altos valores obtidos no qCO_2 podem indicar condições de estresse, uma vez que os micro-organismos tendem a consumir mais substrato, ocorrendo um maior gasto de energia para manutenção da comunidade microbiana. Dessa forma, quanto maior o qCO_2 , menos eficiente é a comunidade microbiana, pois, maiores teores de dióxido de carbono seria perdido para a atmosfera e deixa de ser incorporado à biomassa.

Após todos os critérios mencionados sobre avaliações de biomassa eficiente, o sistema que favoreceu este fato, pode se considerado a iLP D, por ter proporcionado maior estabilidade ao metabolismo microbiano, quando comparada com as demais iLP e a sucessão, tal fato, pode ter sido favorecido pela diversificação de culturas em uma mesma área, que como já falado anteriormente, sempre esteve com três culturas ao longo de cada ano agrícola.

A iLP A em 2012, apresentou elevado valor de qCO_2 , que pode estar relacionado a uma condição de estresse, uma vez que, nesta área, foi mantido por 2 anos consecutivos o cultivo de pastagem (marandu), assim como ocorreu com a iLP C, acarretando um aumento de CO_2 liberado por unidade de biomassa.

A qualidade do substrato disponível para decomposição é outro fator a ser considerado, uma vez que, compostos muito lignificados, a sua decomposição é mais lenta e, desta forma, a microbiota têm um elevado gasto energético para degradar esse produto, até à sua incorporação (Santos, 2005).

Em estudos realizados por Pariz et al. (2008), verificaram-se que as espécies forrageiras estudadas, sendo uma delas a *Br. brizanta* cv. marandu, possuem relação C/N alta (C/N de 40), com isso, sua decomposição foi mais lenta que as demais forrageiras estudadas. Outra possibilidade seria a liberação de substâncias com efeitos alelopáticos, uma estratégia comum de *Br. Brizanta*, afim de, inibir o crescimento de plantas daninhas (Santos et al., 2008) e, conseqüentemente, afetar a microbiota do solo, o que pode ter colaborado para os elevados valores de qCO_2 na iLP A e iLP C.

Resultados semelhantes foram encontrados por Vender (2012), quando avaliou as propriedades físicas do solo nas mesmas áreas do presente estudo, com

exceção da área de sucessão. Para as variáveis: diâmetro médio ponderado, diâmetro médio geométrico e índice de sensibilidade (DMP, DMG e IS, respectivamente) o sistema iLP D, foi o que mais se aproximou da mata nativa. O autor menciona que o acúmulo de cobertura vegetal em superfície, o pastejo fora da época das chuvas, respeitando a altura do pasto, proporcionou maior estabilidade a camada superficial do solo, o que pode ter colaborado com esses resultados.

4.1.3. Atividade enzimática do solo

A atividade das enzimas β -glicosidase, fosfatase ácida e alcalina e urease do solo apresentaram teores variáveis entre os sistemas e épocas avaliados. Em geral houve uma maior produção de enzimas em 2013 para todos os sistemas, diferindo estatisticamente de 2012, com exceção da enzima urease, que por sua vez ocorreu o inverso (Tabela 4).

TABELA 4. Atividade enzimática do solo, sob cinco sistemas de integração Lavoura-Pecuária, uma mata nativa e uma área de sucessão de culturas (soja/milho), na camada de 0-20 cm, coletados em janeiro de 2012 e 2013, no município de Santa Carmem, MT.

Sistemas	β -glicosidase		Fosfatase Ácida		Fosfatase Alcalina		Urease	
	----- $\mu\text{g p-nitrofenol h}^{-1} \text{ g solo seco}^{-1}$ -----							
	2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013
iLP A	116,39 a	281,20 b	117,79 b	322,42 c	46,68 b	632,05 c	440,47 a	203,78 a
iLP B	123,94 a	239,91 c	100,02 b	221,49 e	171,74 a	702,99 c	409,03 a	202,76 a
iLP C	123,16 a	275,10 b	107,98 b	399,56 b	168,06 a	837,25 b	361,85 b	203,31 a
iLP D	108,33 a	216,06 d	127,91 b	140,34 f	97,26 b	675,64 c	261,22 c	200,81 a
iLP E	110,67 a	236,39 c	80,09 b	156,88 f	77,03 b	614,34 c	346,13 b	203,43 a
Mata nativa	127,06 a	318,46 a	184,00 a	500,97 a	62,31 b	1195,35 a	419,51 a	220,58 a
Sucessão	114,05 a	225,05 d	131,59 b	284,03 d	60,78 b	647,97 c	435,23 a	213,39 a
CV (%)	6,76	3,13	14,66	8,23	20,88	9,6	6,15	0,12

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

Na enzima β -glicosidase, não houve diferença estatística entre os sistemas em 2012. Em 2013 a mata nativa diferiu estatisticamente dos demais sistemas, destacando-se com maior atividade desta mesma enzima ($318,46 \mu\text{g } p\text{-nitrofenol h}^{-1} \text{ g solo seco}^{-1}$).

Para a fosfatase ácida, em 2012, a mata nativa apresentou a maior atividade ($184,00 \mu\text{g } p\text{-nitrofenol h}^{-1} \text{ g solo seco}^{-1}$), diferindo estatisticamente dos demais sistemas. Essa mesma observação de destaque da mata nativa ocorreu em 2013, porém com valores maiores se comparado com o ano anterior ($500,97 \mu\text{g } p\text{-nitrofenol h}^{-1} \text{ g solo seco}^{-1}$) (Tabela 4).

Em 2012, considerando a atividade da fosfatase alcalina, os sistemas iLP B e iLP C, demonstraram os maiores valores desta enzima ($171,74$ e $168,06 \mu\text{g } p\text{-nitrofenol h}^{-1} \text{ g solo seco}^{-1}$, respectivamente) não diferindo estatisticamente entre si (Tabela 4)..

A urease respondeu de forma diferente das demais enzimas, com resultados maiores em 2012 se comparados com 2013, para todos os sistemas avaliados. Em 2012, a iLP A, iLP B, mata e a sucessão, apresentaram os maiores valores desta enzima ($440,47$; $409,03$; $419,51$ e $435,23 \mu\text{g uréia h}^{-1} \text{ g solo seco}^{-1}$, respectivamente), não diferindo estatisticamente entre eles. Em 2013 os sistemas não diferiram entre si estatisticamente neste parâmetro (Tabela 4).

Em geral a produção de enzimas extracelulares pela microbiota, ocorre quando, carbono solúvel, nitrogênio e outros nutrientes estão escassos (Koch, 1985). Isso por que, quando um nutriente está disponível no solo, não há necessidade da célula microbiana gastar energia para assimilá-lo, uma vez que já está disponível (Pelletier e Sygush, 1990; Chróst, 1991; Sinsabaugh e Moorhead, 1994; Wallenstein e Weintraub, 2008).

A enzima β -glicosidase é uma das mais comuns encontradas no solo. Possui papel fundamental na degradação da celulose e, ao final do processo, libera glicose como fonte de energia para os micro-organismos (Makoi e Ndakidemi, 2008).

Ao se considerar que, dentre os principais fatores que afetam a atividade das enzimas, destacam-se a quantidade e qualidade dos resíduos vegetais (Mendes e Reis Jr., 2004; Mendes et al., 2009), bem como o pH, temperatura e umidade do solo (Ekenler e Tabatabai, 2003), podemos inferir que estes fatores agiram de forma homogênia nos sistemas avaliados no período de 2012, não sendo possível diferenciar o efeito dos sistemas de uso do solo sobre esta enzima.

Esse resultado, porém, não se repetiu em 2013, onde em geral a atividade da β -glicosidase foi maior em todos os sistemas quando comparadas com 2012. Além disso, notou-se efeito dos sistemas sobre a atividade desta enzima, onde a mata nativa teve a maior atividade. Estes resultados corroboram com os resultados de Caravaca et al. (2002) e Matsuoka (2006) que também encontraram maior atividade da β -glicosidase em solos sob áreas nativas, em relação às áreas cultivadas avaliadas.

Assim como a mata nativa teve maior atividade de algumas enzimas, resultados semelhantes foram encontrados nos estudos de Vender (2012), onde avaliou as propriedades físicas do solo, nas mesmas áreas deste presente estudo, com exceção da área de sucessão, em seus resultados de macroporosidade, microporosidade e densidade, revelaram que a mata nativa apresentou o menor valor de microporosidade e maior valor de macroporosidade nas camadas de 0-0,10 m e 0,10-0,20 m.

Vender (2012) que trabalhou com as propriedades físicas do solo das iLP deste estudo, relata que, com o aumento na macroporosidade há uma redução na microporosidade e vice versa, porém com a redução da macroporosidade há uma maior compactação do solo. Para os resultados de densidade, o solo da mata nativa foi o que obteve o menor valor, tais resultados demonstram que o solo da mata nativa é menos compactado que os das iLP. Com isso há uma maior aeração do solo e maior disponibilidade de oxigênio, o que favorece o desenvolvimento da comunidade microbiana aeróbica do solo.

Além da maior macroporosidade no solo de sistemas naturais, a vegetação nativa é rica em diversidades de espécies vegetais e consegue se auto sustentar sem adição de fertilizantes (Conte et al., 2002). Essa diversidade de espécies vegetais na mata nativa disponibilizam diferentes substratos para a microbiota (Garcia et al., 1997). Por isso quando comparamos sistemas de uso da terra, em geral, os sistemas naturais são utilizados como referência à condição inicial e natural do solo.

Neste contexto, os sistemas de integração que mais se aproximaram da mata nativa, foram a iLP A e iLP C, quanto a atividade da β -glicosidase do solo (Tabela 4). Este resultado demonstra mais uma vez, a capacidade da iLP em melhorar os atributos microbiológicos, sobretudo, a atividade da enzima β -glicosidase.

A fosfatase ácida teve a maior atividade no sistema de mata nativa, como observado na β -glicosidase. Os demais sistemas em 2012 apresentaram resultados homogêneos, que não diferiram estatisticamente. Em 2013, a iLP C foi a que mais se aproximou da mata nativa. Estes resultados encontram-se de acordo com os vários trabalhos apresentados em literatura, onde a maior atividade da fosfatase ácida foi apresentada na vegetação nativa sob diferentes solos (Carneiro et al., 1999; Mendes et al., 2003; Matsuoka, 2001; Caravaca et al., 2002; Schmitz, 2003; Matsuoka, 2006).

Quando analisamos os teores de fósforo (Tabela 2), que variaram de 0,06 a 9,4 mg dm⁻³ (correspondentes a mata nativa e iLP A), essa baixa disponibilidade deste nutriente, explica os resultados da fosfatase ácida. Gomide et al. (2011), relata a indução de produção desta enzima, pelos micro-organismos, na baixa disponibilidade de P no solo. Assim como relatado em outros autores que trabalharam com essa e outras enzimas, não há necessidade da célula microbiana gastar energia para assimilá-lo, uma vez que, já está disponível (Pelletier e Sygush, 1990; Chróst, 1991; Sinsabaugh e Moorhead, 1994; Wallenstein e Weintraub, 2008).

Deve-se destacar, ainda a contribuição dos altos teores de matéria orgânica como contribuinte dos aumentos da atividade da fosfatase ácida na mata. A matéria orgânica fornece complexos húmicos que mantêm a atividade desta enzima no solo (Dick et al., 1988).

A fosfatase ácida possui extrema importância na mineralização do P orgânico do solo, especialmente quando se trata de solos do Cerrado, em que a disponibilidade deste nutriente é restrita. Essa enzima difere da alcalina, pelo pH ótimo de ação, pois a alcalina age em pH 9 a 10 a ácida em pH 4 a 6,5. Ambas são secretadas por micro-organismos do solo e possuem papel importante no ciclo do P (Tabatabai, 1994).

A fosfatase alcalina teve respostas diferentes em 2012 quando comparadas com a fosfatase ácida, onde a iLP B e iLP C notaram valores mais altos que os da mata nativa. O pH e a qualidade da matéria orgânica nessas iLP podem ter favorecido este resultado (Tabela 4).

Em 2013, teve resultados diferentes dos encontrados em 2012, onde a fosfatase alcalina foi maior na mata. Quando analisando as épocas, 2013 apresentou os maiores valores desta enzima em todos os sistemas, evidenciando o

efeito do ambiente e do manejo do solo sobre a ação desta enzima. A iLP C foi a que mais se aproximou do resultado da mata nativa (Tabela 4).

Este resultado discrepante das enzimas, entre 2012 e 2013, apresentados no sistema de mata nativa, pode ser pelo fato desta área não ser homogênea, na questão das culturas, ao contrário, ela apresenta uma diversidade de espécies vegetais, além de outros fatores como pH do solo e umidade, os quais favorecem a heterogeneidade de resultados entre épocas.

Gonnety et al. (2012), no entanto, enfatizam a importância do estudo da atividade das enzimas extracelulares, por fornecer informação sobre a disponibilidade temporal e espacial de compostos orgânicos específicos, como a disponibilidade de C, N e P.

A atividade da urease respondeu de forma homogênea nos sistemas avaliados em 2013 e 2012, com exceção da iLP C, iLP D e iLP E, que diferiram estatisticamente entre si e dos demais sistemas, apresentando os menores valores em 2012. Quanto às épocas, essa enzima teve os maiores valores em 2012 em todos os sistemas, respondendo diferentemente das demais enzimas, nas quais, os maiores valores foram observados em 2013 nos sistemas (Tabela 4).

Essa variação das épocas nos fornece informações da ação do ambiente sobre a atividade das enzimas. Resultados semelhantes foram observados por Matsuoka (2006), onde a urease respondeu de forma diferenciada nas épocas de amostragem.

Além disso, o sistema de uso do solo também possui grande influência sobre a atividade enzimática do solo. Marchiori-Júnior (1998) identificou uma redução na atividade da urease, aproximadamente 33% em solos com pastagens há 10 anos e 72% com algodão, quando comparados com solos de mata nativa, no Estado de São Paulo.

Em estudos com comparações entre sistema de plantio direto (PD) e convencional, a urease esteve superior no sistema PD. Apresentando similaridade com os solos sob campo natural em termos da atividade de uma das enzimas ligadas ao ciclo do N. O resultado foi atribuído aos maiores teores de matéria orgânica em PD, o que estimularia a atividade microbiana do solo (Van den Bosshe et al., 2008; Lisboa et al., 2012).

Assim como em algumas enzimas e épocas avaliadas, neste trabalho, os sistemas avaliados não promoveram alterações evidentes na atividade da enzima

urease na segunda época amostrada. Resultados semelhantes foram obtidos por Conti et al. (1998), avaliando o efeito das rotações de culturas com milho e soja, em comparação com milho e milho mantidos sob PD, na qual a atividade da urease não diferiu entre as rotações.

Sinsabaugh (1994) concluiu que os ensaios enzimáticos oferecem vantagens quanto à sensibilidade, especificidade e facilidade. Isso por que respondem rapidamente a perturbações no solo, o que é interessante para o monitoramento da dinâmica espacial e temporal da atividade microbiana e investigações na ciclagem de nutrientes mediados por esta.

O plantio direto, sem revolvimento do solo, foi relatado como capaz de melhorar a atividade enzimática do solo (Van den Bossche et al., 2008; Lisboa et al., 2012), e neste trabalho o plantio direto aliado ao sistema de integração de culturas foi capaz de se aproximar à mata nativa quanto a produção de enzimas e bem como a produção de biomassa microbiana, resultados esses positivos para a sustentabilidade do solo.

4.1.4. População de micro-organismos do solo

A população cultivável de bactérias, micro-organismos celulolíticos, actinomicetos e fungos do solo foram variáveis entre os sistemas (Tabela 5). A população de bactérias foi maior na iLP A, iLP B e na mata, não diferindo estatisticamente entre si no ano de 2012. Sendo alterado esse resultado em 2013, onde por sua vez a iLP C, se destacou dos demais sistemas

O sistema que favoreceu o desenvolvimento de actinomicetos foi a iLP A em 2012, e a iLP C e iLP E, em 2013. Os micro-organismos celulolíticos responderam de forma semelhante aos actinomicetos, onde o sistema de iLP A em 2012, e a iLP C em 2013, foram os sistemas que favoreceram o desenvolvimento desta comunidade.

A população de fungos do solo foi maior na iLP B em 2012. Em 2013 esse resultado se mantém, mas com o adicional da iLP C. Em geral, 2013 apresentou uma redução na população de fungos em todos os sistemas, com exceção da iLP C que teve um pequeno aumento, quando comparados com 2012.

TABELA 5. População de micro-organismos cultiváveis do solo, sob cinco sistemas de integração Lavoura-Pecuária, uma mata nativa e uma área de sucessão de culturas (soja/milho), na camada de 0-20 cm, coletados em janeiro de 2012 e 2013, no município de Santa Carmem, MT.

Sistemas	Bactérias		Actinomicetos		Mic. Celulolíticos		Fungos	
	----- UFC x 10 ⁶ g ⁻¹ solo-----						UFC x 10 ⁴ g ⁻¹ solo	
	2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013
iLP A	1,42 a	0,95 b	1,33 a	1,24 b	1,38 a	0,49 b	3,69 b	2,22 b
iLP B	1,19 a	0,93 b	1,08 c	1,16 b	1,13 b	0,16 d	4,61 a	3,00 a
iLP C	0,79 b	1,39 a	0,83 e	1,33 a	0,99 c	0,77 a	3,07 c	3,29 a
iLP D	0,94 b	0,68 c	0,99 d	0,64 d	1,17 b	0,33 c	2,58 c	1,78 b
iLP E	0,77 b	0,31 d	1,19 b	1,31 a	0,90 c	0,26 c	2,43 c	1,67 b
Mata nativa	1,33 a	1,14 b	1,13 c	0,44 e	0,96 c	0,60 b	2,77 c	1,79 b
Sucessão	0,91 b	0,98 b	0,65 f	0,89 c	0,30 d	0,35 c	1,88 d	1,50 b
CV (%)	19,26	20,94	8,55	8,25	12,78	13,64	23,43	16,39

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade. UFC = Unidade Formadora de Colônia.

Os sistemas que favoreceram o crescimento bacteriano do solo foram a iLP A, iLP B e a mata, em 2012, e a iLP C em 2013, provavelmente estimulado pelas culturas, que exercem influências diretas sobre as comunidades bacterianas. Quanto maior o aporte de matéria orgânica, diversificada em compostos, maior será a diversidade de espécies microbianas (Garcia et al., 1997).

Essa quantidade é ideal ao se pensar em nicho ecológico, onde uma comunidade interage com outras e atua em partes de determinado processo, como na ciclagem de nutrientes, que depende de um conjunto de comunidades microbianas funcionais. Neste contexto, os sistemas de integração se destacam pela diversificação de culturas e o não revolvimento do solo, que favorece a diversidade microbiana.

Pelo método de diluição seriada, porém, informações sobre a diversidade microbiana é limitada. Por outro lado, este método informa o número de micro-organismos ativos e cultiváveis, ou seja, aqueles ativos a conduzir os processos biogeoquímicos (Blagodatskaya e Kuzyakov, 2013).

Dentro desses processos biogeoquímicos, os actinomicetos desempenham um papel fundamental na decomposição de compostos orgânicos e resíduos agrícolas, remediação, solubilização, entre outros. (Groth et al., 1999).

Os actinomicetos são bactérias Gram positivas, que em geral, seu desenvolvimento sofre maior influência do manejo e das culturas, quando comparado com as demais bactérias e os fungos. Devido o crescimento lento e a baixa capacidade competitiva desses micro-organismos, por não conseguirem se predominar em substratos orgânicos, onde outros micro-organismos apresentam capacidade de colonização mais rápida (Siqueira e Franco, 1988; Pereira, et al., 1999).

Apesar dos actinomicetos apresentarem baixa capacidade competitiva, esses micro-organismos formam esporos e conídios, estruturas que lhes conferem resistência e permite a sua sobrevivência em condições adversas. Isso demonstra a importância de estudos ecológicos das populações de actinomicetos (Williams, et al., 1972; Vobis, 1997).

Na iLP A em 2012 e na iLP C 2013, foram obtidos os maiores valores de micro-organismos celulolíticos (Tabela 5). Tal resultado pode ser atribuído aos resultados observados para bactérias, os quais foram similares nos mesmos sistemas. Isso por que, o meio de cultura utilizado para enumeração de micro-

organismos celulolíticos, favorece o crescimento de bactérias, actinomicetos e fungos, sem distinção. Apenas classifica-os quanto à degradação da celulose.

Neste sentido, os resultados das populações de bactérias corroboram com os dos micro-organismos celulolíticos e actinomicetos, sendo possível inferir, que o tipo de comunidade predominante de micro-organismos celulolíticos está mais associado a bactérias do que a fungos. Apesar dos fungos também serem notados como positivos a degradação da celulose, mas não foram predominantes neste estudo, quanto às bactérias.

A população de fungos foi favorecida pela iLP B em 2012, onde teve o maior número dessa população (Tabela 5). Em 2013, esse resultado se mantém, com o adicional da iLP C que também propiciou a população de fungos. Tais resultados também são influenciados pela rizosfera como as bactérias, bem como por fatores ambientais.

A comunidade de fungos do solo é menor quando comparado com as de bactérias em unidade de células (Siqueira e Franco, 1988), corroborando com os obtidos neste trabalho. Para Perez et al. (2004), porém, a condição da mata, onde há uma diversidade na deposição de resíduos orgânicos, maior quantidade de raízes e de água retida no solo, estimulam a comunidade microbiana do solo. A comunidade de fungos tende a ser maior em solos em condição de mata nativa do que em solos agrícolas que sofrem perturbações.

O que não foi observado no presente estudo, pois em geral os solos sob iLP, favoreceram o crescimento microbiano. Isso se deve ao aporte de matéria orgânica, ao não revolvimento do solo e a diversificação de culturas em uma mesma área. O que seria o ideal ao se pensar em sustentabilidade das práticas agrícolas.

Essa preocupação com a sustentabilidade se deve ao fato de que a perda da biodiversidade gera não somente impactos ecológicos, mas também sociais e econômicos, uma vez que o desequilíbrio ecológico tende a se compensar de alguma forma e, geralmente, mais drástica e dispendiosa.

Os micro-organismos do solo são responsáveis por processos que têm influência direta ou indiretamente na produtividade e sustentabilidade dos ecossistemas terrestres. O método de contagem desses micro-organismos, apesar de ser visto com ressalvas, ajuda a entender os processos que nele ocorrem, uma vez que, aliando com outros atributos, serve como indicador do impacto de diferentes atividades antrópicas (Previati et al., 2012).

4.2. Variáveis e Suas Correlações Lineares

No Apêndice 1, está a matriz de correlação linear simples entre as variáveis microbiológicas e climáticas (precipitação, umidade relativa e temperatura do ar).

A análise dos dados apresentados revela que os fatores climáticos exercem alta correlação ($>0,75$) sobre algumas variáveis microbiológicas, principalmente com as enzimas (Apêndice 1).

As enzimas β -glicosidase e fosfatase alcalina apresentam correlações com as três variáveis climáticas, e que chamam bastante a atenção por terem uma correlação positiva forte com a temperatura (0,943 e 0,921, respectivamente) e negativa forte com a precipitação (-0,943 e -0,921, respectivamente) e umidade (-0,943 e -0,921, respectivamente). Neste caso, as altas temperaturas, baixa precipitação e umidade favorecem a atividade da β -glicosidase e fosfatase alcalina no solo, como é o caso dos períodos bem definidos de seca nas regiões tropicais.

A urease também apresenta correlações fortes com as variáveis climáticas, porém possui uma correlação forte negativa com a temperatura (-0,901) e forte positiva com a precipitação e umidade (0,901 para ambos). Isso ao contrário da β -glicosidase e fosfatase alcalina, a urease tende a aumentar em alta precipitação e umidade e em baixas temperaturas, o que nas condições de regiões tropicais a atividade dessa enzima é desfavorável.

Além dessas correlações, as enzimas também se correlacionam entre si, como a fosfatase ácida, alcalina e a urease se correlacionam com a β -glicosidase, onde as duas primeiras enzimas apresentam correlações fortes positivas (0,862 e 0,969, respectivamente) e a última forte negativa (-0,825). Assim como a fosfatase alcalina se correlaciona forte positiva (0,846) com a fosfatase ácida e a urease forte negativa (-0,826) com a fosfatase alcalina.

Tais correlações mencionam a importância da atividade da β -glicosidase sobre as outras enzimas estudadas e a interdependência das enzimas entre si.

4.3. Análise de Componentes Principais

No resultado da análise multivariada, por meio da técnica de componentes principais, do conjunto total das 14 variáveis (11 microbiológicas e 3 climáticas), foi extraído em três componentes principais que tiveram maior influência sobre os resultados. Os três primeiros componentes principais explicaram em porcentagem a

variabilidade total de 84,70%, que em decomposição correspondem a 57, 17,4 e 10,35%, respectivamente, aos componentes: 1, 2 e 3 (Apêndice 2).

O componente principal 1, que explica aproximadamente 57 % da variabilidade dos dados apresentou correlação forte positiva com as variáveis: precipitação, umidade, urease e celulolíticos (micro-organismos). E apresentou correlação forte negativa com a temperatura, β -glicosidase e fosfatase alcalina (Apêndice 3).

As correlações fortes em negrito na Tabela 9 das variáveis com cada componente principal indicam que estas variáveis apresentaram maior capacidade discriminatória no processo de formação dos agrupamentos pelo componente principal em questão (Loureiro, 2012).

O componente principal 2 explicou 17,40 % das diferenças entre as variáveis estudadas, e demonstrou correlação forte positiva com a respiração basal, CBM, bactérias e fosfatase ácida (Apêndice 3).

O componente principal 3 explicou 10,35 % da variabilidade dos dados, e obteve correlação forte positiva com actinomicetos, $q\text{CO}_2$ e fungos (Apêndice 3).

A Figura 3 representa graficamente análise de componentes principais (ACP) em duas dimensões, representada pelo eixo Fator 1 (componente principal 1) e Fator 2 (componente principal 2), a distribuição espacial das 14 variáveis estão representadas por setas e os sistemas por pontos com cores que estão diferenciando as épocas.

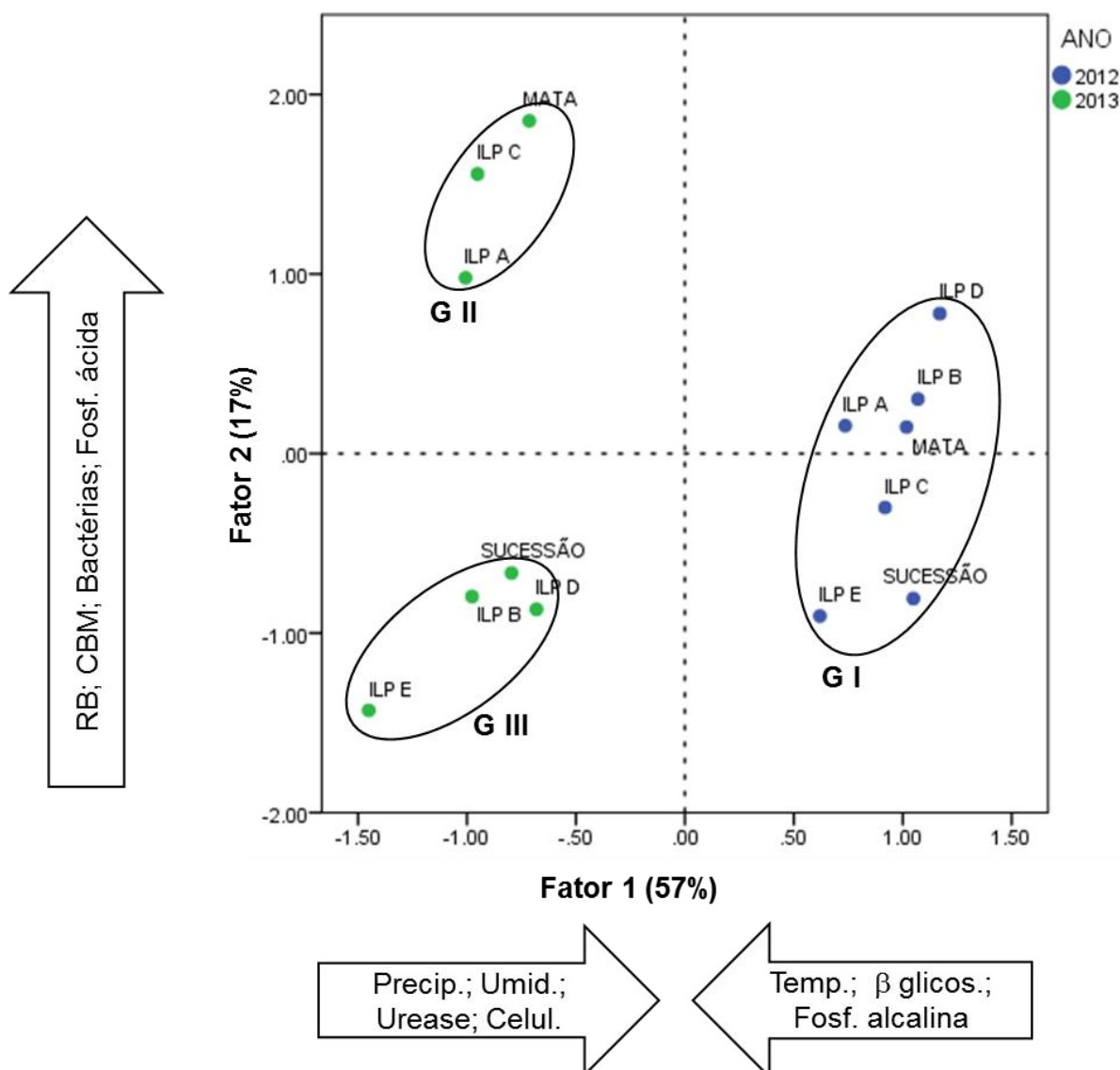


FIGURA 3 - Componentes principais, fator 1 e 2 (com respectivamente 57% e 17%, das variações explicadas) retidos na análise das 14 variáveis (CBM = carbono da biomassa microbiana; RB = respiração basal; β -glicos. = β -glicosidase; Fosf. ácida = fosfatase ácida; Fosf. alcalina = fosfatase alcalina; urease; bactérias; Celu. = micro-organismos celulolíticos; Temp. = temperatura média do ar; Precip. = precipitação média mensal; Umid. = umidade relativa do ar).

A ACP agrupou os sistemas e épocas em 3 grupos (G I, G II e G III) em função da similaridade das variáveis estudadas. Em 2012 formou um grupo com todos os sistemas (G I) e em 2013 os sistemas foram agrupados em 2 grupos (G II e G III).

O componente 1 (Fator 1) mostrou que o G I, formado por todos os sistemas em 2012, se associaram a altos valores de precipitação, umidade, urease e micro-organismos celulolíticos, bem como, com os baixos valores de temperatura, β -glicosidase e fosfatase alcalina. Este grupo apresentou posição mediana quando

comparado com os demais grupos e se comportaram de forma homogênea, quando comparados com 2013.

No eixo do componente 2 (Fator 2), o G II, formado pelos sistemas de mata, iLP C e iLP A, apresentou alta correlação positiva com as variáveis RB, CBM, bactérias e fosfatase ácida.

O G III formado pelos sistemas iLP B, iLP D, iLP E e sucessão, este grupo se associou com o fator 1, com os altos valores de temperatura, β -glicosidase e fosfatase alcalina e baixos valores de precipitação, umidade, urease e microorganismos celulolíticos. Este grupo teve baixa associação com o fator 2, apresentando baixos valores de RB, CBM, bactérias e fosfatase ácida.

Os resultados da análise de componentes principais revelaram que os fatores climáticos tiveram alta influência sobre os resultados, ao passo que, em 2012 devido ao maior acúmulo de chuva fez com que os sistemas se agrupassem na figura 3 (G I). O que demonstra a grande influência dos fatores climáticos sobre as variáveis microbiológicas.

Somente houve uma segregação destes sistemas em 2013, onde formaram 2 grupos com funções similares sobre as variáveis. A partir de um desses grupos foi possível identificar que A iLP C e iLP A foram os sistemas que mais assemelharam com a mata nativa, tal fato comprova que a iLP corrobora para com a melhoria e ou manutenção dos atributos microbiológicos.

Outra observação importante foi a influência da enzima β -glicosidase sobre as demais enzimas, por apresentar correlação forte positiva com a fosfatase ácida e alcalina e forte negativa com a urease. A partir disso, em estudos futuros, poderá se estimar os resultados da fosfatase ácida e alcalina por meio dos resultados da β -glicosidase, para minimizar custos, uma vez que, a análise das fosfatases tem custos mais dispendiosos, devido ao reagente *p*-Nitrophenyl-phosphate.

Mesmo após o fim dos sistemas das iLP, as diferenças notadas nas variáveis microbiológicas em 2013, demonstra o efeito residual gerado por estes sistemas, o que pode ser considerado como a resiliência conferida a microbiota do solo, esta por sua vez é referida como a capacidade de recuperação (Torsvik e Ovreas, 2002). Para maiores inferências sobre a capacidade de resiliência, porém, seria necessário mais tempo de estudo nestas áreas.

Maiores diferenças entre os sistemas foram notadas na análise univariada dos dados. Porém quando analisamos o sistema solo como um conjunto dinâmico e

heterogêneo, a qualidade biológica do solo deve ser avaliada como um todo, analisando as correlações das variáveis microbiológicas entre si e bem como com os atributos químicos, físicos do solo e com as variáveis ambientais, que como já relatado, neste trabalho as variáveis climáticas tiveram muita influência sobre os resultados.

Neste sistema tão complexo que é o solo, o conceito de sustentabilidade que tanto se almeja estimar, ainda é uma incógnita. Uma vez que, há inúmeras variáveis influenciadoras. Por isso, estudos desse tipo, necessitam de uma visão interdisciplinar entre os componentes químicos, físicos, biológicos e ambientais. Aliando também, a utilização de novas ferramentas, como a biologia molecular para ajudar a inferir sobre a qualidade da microbiota. Em futuras perspectivas, ainda há um longo caminho, até a padronização de um índice de qualidade biológica do solo, que reflita a condição ideal para cada tipo de solo.

5. CONCLUSÕES

As variáveis microbiológicas analisadas isoladamente são sensíveis às alterações em função do uso do solo e do tempo, e são bons indicadores de qualidade do solo, sobretudo as enzimas β -glicosidase, fosfatase ácida, fosfatase alcalina e urease. A β -glicosidase apresentou correlações altas com as demais enzimas.

A época de coleta influenciou os resultados microbiológicos, à segunda coleta por sua vez teve influência positiva sobre os mesmos, neste sentido, os fatores climáticos devem ser considerados em avaliações de monitoramento da qualidade do solo.

O sistema integrado de produção, após sete anos de implantação, com a diversificação de culturas ao longo do ano, proporciona resiliência na estrutura e função da microbiota do solo. Por isso, é uma ferramenta de manejo do solo menos impactante e com maior capacidade de sustentabilidade do componente microbiológico do solo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEF, K. **Estimation of soil respiration**. In: ALEF, K.; NANNIPIERI, P. Methods in applied soil microbiology and biochemistry. Academic Press, New York, 1995, p. 464-470.

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, 1995. 576p.

ALVARENGA, R. C.; NOCE, M. C. **Integração Lavoura-Pecuária**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005, 16p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 47).

ALVARENGA, R. C.; COBUCCI, T.; KLUTHCOUSKI, J; WRUCK, F. J.; CRUZ, J.C.; GONTIJO NETO, M.M. A cultura do milho na integração Lavoura-Pecuária. **Circular Técnica 80**. 2006. 13p.

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental condition, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, p. 393-395, 1993.

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.10, p. 215-221, 1978.

ANDERSON, L. O.; ROJAS, E. H. M.; SHIMABUKURO, Y. E. **Avanço da soja sobre os ecossistemas cerrado e floresta no estado do Mato Grosso**. In: XI SBSR, 2003, Belo Horizonte, Anais... Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 19.

ANGHINONI, I.; MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; SOUZA, E. D.; CONTE, O.; LANG, C. R. **Benefícios da integração lavoura-pecuária sobre a fertilidade do solo em sistema plantio direto**. In: DA FONSECA, A. F.; CAIRES, E. F.; BARTH, G. Fertilidade do solo e nutrição de plantas no sistema plantio direto. AEACG/Inpag: Ponta Grossa, 2011.

ARAÚJO, A. S. F.; CESARZ, S.; LEITE, L. F. C.; BORGES, C. D.; TSAI, S. M.; EISENHAUER, N.. Soil microbial properties and temporal stability in degraded and

restored lands of Northeast Brazil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 66, p. 175-181, 2013.

ARAÚJO, E. A. de; 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**, v.5, p.187-206, 2012.

ARAUJO, R. de A.; COSTA, R. B. da; FELFILI, J. M.; KUNTZ, I. G.; SOUSA, R. A. T. de M.; DOR, A. Florística e estrutura de fragmento florestal em área de transição na Amazônia Matogrossense no município de Sinop. **Acta Amazonica**, v.39, p. 866, 2009.

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

ATLAS, R. M.; BARTHA, R. **Microbial Ecology**. Menlo Park: Cummings BRUGGEN, A. H. C.; SEMENOV, A. M. In search of biological indicators for soil health and disease suppression. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 15, p. 13-24, 2000.

BLAGODATSKAYA, E.; KUZYAKOV, Y. Active microorganisms in soil: Critical review of estimation criteria and approaches. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 67, p. 192-211, 2013.

BRUGGEN, A. H. C.; SEMENOV, A. M. In search of biological indicators for soil health and disease suppression. **Applied Soil Ecology**, v. 15, p.13-24, 2000.

BURNS, R. G. Enzyme-activity in soil - location and a possible role in microbial ecology. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 14, p. 423-427, 1982.

CAETANO, J. O.; VERGINASSI, A.; ASSIS, P. C. R.; PAULINO, H. B.; CARNEIRO, M. A. C. Indicadores de qualidade de um latossolo vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Global Science and Technology**, v. 6, p. 26-39, 2013.

CARAVACA, F.; MASCIANDARO, G.; CECCANTI, B. Land use in relation to soil chemical and biochemical properties in a semiarid Mediterranean environment. **Soil and Tillage Research**, v. 68, p. 23-30, 2002.

CARDOSO, E. J. B. N.; FREITAS, S. S. **A rizosfera**. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. Microbiologia do solo. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p.41-57.

CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; MOREIRA, F. M. S.; CURI, N. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 631-637, 2009.

CARNEIRO, M. A. C.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; SOARES, A. L. L. Carbono orgânico, nitrogênio total, biomassa e atividade microbiana do solo em duas cronossequências de reabilitação após a mineração de bauxita. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 621-632, 2008.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D. de; REIS, E. F. dos; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. de. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob

diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 147-157, 2009.

CARNEIRO, R. G.; MENDES, I. C.; CARVALHO, A. M. de; VIVALDI, L. J.; LOVATO, P. E. **Dinâmica de variáveis biológicas associadas ao ciclo do fósforo em solo de cerrado sob diferentes sistemas de manejo**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999. 5p.

CARTER, M. R. Microbial biomass as an index for tillage-induced changes in soil biological properties. **Soil and Tillage Research**, v. 7, p. 29-40, 1986.

CATTELAN, A. J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.133-142, 1990.

CHÁVEZ, L. F.; ESCOBAR, L. F.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. DE F.; MEURER, E. J. Diversidade metabólica e atividade microbiana no solo em sistema de integração Lavoura-Pecuária sob intensidades de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p.1254-1261, 2011.

CHRÓST, R. J. Environmental control of the synthesis and activity of aquatic microbial ectoenzymes. In: CHRÓST, R. J. **Microbial Enzymes in Aquatic Environments**. Springer, New York, p. 29–59. 1991.

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

CONTI, M. E.; PALMA, R. M.; ARRIGO, N. M.; ZOURARAKIS, D. P.; CAPPELLETTI, C. A. Long-term rotation effect of soybean with no-till maize on soil N availability indices and microbial activity in the Argentine Pampa. **Soil and Tillage Research**, v. 49, p. 267-270, 1998.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J. O.; CARNEIRO, M. A. C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do Cerrado no sul do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 913-923, 2002.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. **Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo: Método da fumigação-extração**. Seropédica: Embrapa-CNPAB, 1997. 10p. (Embrapa-CNPAB. Documentos, 37).

DICK, R. P.; BREACKWELL, D. P.; TURCO, R. F. **Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators**. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. **Methods for assessing soil quality**. Madison: SSSA, 1996. p. 247-271. (SSSA Special Publication, 49).

DICK, R. P.; RASMUNSEN, P. E.; KERLE, E. A. Influence of long-term residue management on soil enzyme activities in relation to soil chemical properties of a wheat-fallow system. **Biology and Fertility of Soils**, v. 24, p. 159-164, 1988.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. **Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set**. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. **Methods for assessing soil quality**.

Wisconsin, USA: Soil Science Society American, 1996. p. 25-37. (Special Publication, 49).

EIVAZI, F., TABATABAI, M. A. Glucosidases and agalactosidases in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 20, p. 601–606, 1988.

EIVAZI, F., TABATABAI, M. A. Phosphatases in soils. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 9, p. 167–172, 1977.

EKENLER, M.; TABATABAI, M. A. Effects of liming and tillage systems on microbial biomass and glycosidases in soils. **Biology and Fertility of Soils**, v. 39, p. 51-61, 2003.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa, 1999. 412p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212p.

GARCÍA, C.; ROLDAN, A.; HERNÁNDEZ, T. Changes in microbial activity after abandonment of cultivation in a semiarid mediterranean environment. **Journal of Environmental Quality**, v. 26, p. 285-291, 1997.

GIL-SOTRES, F.; CEPEDA-TRASAR, C.; LEIRÓS, M. C.; SEOANE, S. Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 37, p. 877-887, 2005.

GOMIDE, P. H. O.; SILVA, M. L. N.; SOARES, C. R. F. S. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em ambientes de voçorocas no município de Lavras-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 567-577, 2011.

GONNETY, J. T.; ASSÉMIEN, E. F. L.; GUÉI, A. M.; N'DRI, A. A.; DJINA, Y.; KONÉ, A. W.; TONDOH, J. E. Effect of land-use types on soil enzymatic activities and chemical properties in semi-deciduous forest areas of Central-West Côte d'Ivoire. **Biotechnology Agronomy Society and Environment**, v. 16, p. 478-485. 2012.

GROTH, I.; VETTERMANN, R.; SCHUETZE, B.; SCHUMANN, P. ; SAIZ-JIMENEZ, C. Actinomycetes in Karstic caves of northern Spain (Altamira and Tito Bustillo). **Journal of Microbiological Methods**, Alemanha, v. 36, p. 115-122, 1999.

HAIR JR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. 5. ed. . Porto Alegre: Bookman, 2005.

INSAM, H.; DOMSCH, K. H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. **Microbial Ecology**, v.15, p.177-188, 1988.

JANVIER C.; VILLENEUVE F.; ALABOUVETTE C.; EDEL-HERMANN V.; MATEILLE T.; STEINBERG C. Soil health through soil disease suppression: which strategy from descriptors to indicators? **Soil Biology and Biochemistry**, v. 39, p. 1-23, 2007.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocida treatment on metabolism in soil - V. Method for measuring soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 8, p. 209-213, 1976.

JENKINSON, D. S. **Determination of microbial biomass carbon and nitrogen in soil**. In: WILSON, J. R. Advances in nitrogen cycling in agricultural systems. Wallingford: CAB International, 1988. p. 368-386.

JOLLIFFE, I. T. **Principal Component Analysis**. 2 ed. ed. New York: Springer, 2002. 487p.

KANDELER, E.; GERBER, H. Short-term assay of soil urease activity using colorimetric determination of ammonium. **Biology and Fertility of Soils**, v. 6, p. 68-72, 1988.

KARLEN, D. L.; DITZLER, C. A.; ANDREWS, S. S. Soil quality: why and how? **Geoderma**, Amsterdam, v. 114, p. 145-156, 2003.

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. **Integração Lavoura Pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 570 p.

KOCH, A. L. The macroeconomics of bacterial growth. In: FLETCHER, M.; FLOODGATE, G. D. Bacteria in their Natural Environments. **Academic Press**, p. 1-42. 1985.

LEITE, F. C.; PORFIRIO-DA-SILVA, V.; MADARI, B. E.; MACHADO, P. L. O. de A.; BARCELLOS, A. de O.; BALBINO, L. C. **O potencial de seqüestro de carbono em sistemas de produção integrados: Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF)**. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 2010, Foz do Iguaçu. Tecnologia que mudou a visão do produto: Resumos. Ponta Grossa: FEBRAPDP, 2010. 60p.

LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; SILVEIRA, A. O. da; MARTINS, A. F.; SELBACH, P. A. Indicadores Microbianos de Qualidade do Solo em Diferentes Sistemas de Manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 45-55, 2012.

LOUREIRO, D.,C. **Biomassa Microbiana do Solo na Amazônia, Mata Atlântica e Antártica**. 2012. 97f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ, 2012.

MAKOI, J. H. J. R.; NDAKIDEMI, P. A. Selected soil enzymes: examples of their potential roles in the ecosystem. **African Journal of Biotechnology**, v. 7, p. 181-191, 2008.

MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M.; JUNIOR, J. D. G. S.; 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**, v. 42, p. 873-882, 2007.

MARCHIORI JÚNIOR, M. **Carbono, nitrogênio e biomassa microbiana e atividade enzimática num solo sob mata natural ou cultivado com pastagem ou algodoeiro**. 1998. 70f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, UNESP, Jaboticabal - SP, 1998.

MARTINS, M. de E.; CAMPOS, D. T. da S.; WRUCK, F. de J. Caracterização microbiana em um latossolo vermelho-amarelo distroférico sob o sistema de integração lavoura pecuária. **Global Science and Technology**, v. 04, p. 38 – 46, 2011.

MATSUOKA, M. **Atributos biológicos de solo cultivados com videira na região da Serra Gaúcha**. 2006. 152f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS, 2006.

MATSUOKA, M. **Características biológicas de solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na Região de Primavera do Leste/MT**. 2001. 123f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá - MT, 2001.

MCDANIEL, M. D; KAYE, J. P; KAYE, M. W. Increased temperature and precipitation had limited effects on soil extracellular enzyme activities in a post-harvest forest. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 56, p. 90-98, 2013.

MELLONI, R.; BELLEZE, G.; PINTO, A. M. S.; DIAS, L. B. de P.; SILVE, E. M. A.; MELLONI, E. G. P.; ALVARENGA, M. I. N.; ALCÂNTARA E. N. de. Métodos de controle de plantas daninhas e seus impactos na qualidade microbiana de solo sob cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 66-75, 2013.

MENDES, I. de C.; HUNGRIA, M.; REIS-JUNIOR, F. B. dos; FERNANDES, M.F.; CHAER, G. M.; MERCANTE, F. M. e ZILLI, J. E. **Bioindicadores para avaliação da qualidade dos solos tropicais: utopia ou realidade?** Planaltina-DF: Embrapa Cerrados, 2009. 31p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 246).

MENDES, I. C.; REIS JÚNIOR, F. B. **Uso de parâmetros microbiológicos como indicadores para avaliar a qualidade do solo e a sustentabilidade dos agroecossistemas**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. 34p. (Documentos, 112)

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**, Viçosa, v. 27, p. 435-445, 2003.

MENDES, I. C.; VIVALDI, L. A. **Dinâmica da biomassa e atividade microbiana em uma área sob mata de Galeria na região do Distrito Federal**. In: RIBEIRO, J. F.; FONSECA, C. E. L.; SOUZA-SILVA, J. C. Cerrado, caracterização e recuperação de Matas de Galeria. Planaltina: Embrapa – CPAC. 2001. p. 665-687.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. Lavras: UFLA, 2006. 729p.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras : UFLA, 2002. 626 p.

NEVES, C. M. N. das; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; CARDOSO, E. L.; MACEDO, R. L. G.; FERREIRA, M. M.; SOUZA, F. S. de. Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do Estado de Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, v. 74, p. 45-53, 2007.

OLIVEIRA, A. S. de. **Qualidade do solo em sistemas agroflorestais em Alta Floresta, MT.** 2006, 59f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) Departamento de Solos – Universidade Federal de Viçosa - UFV, Viçosa - MG, 2006.

OLIVEIRA, J. R. A.; MENDES, I. C.; VIVALDI, L. Carbono da biomassa microbiana em solos de cerrado sob vegetação nativa e sob cultivo: Avaliação dos métodos fumigação-incubação e fumigação-extração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 863-872, 2001.

PARIZ, C. M.; ANDREOTTI, M.; AZENHA, M. V.; ARAÚJO, F. C. de M.; BERGAMASCHINE, A. F.; BUZZETTI, S. **Tempo de decomposição de massa seca de espécies forrageiras em função de épocas de semeadura no cerrado.** In: FERTBIO, 2008, Londrina, Anais... FERTBIO, Londrina, 2008.

PARTON, W. J.; SCHIMEL, D. S.; COLE, C. V.; OJIMA, D. S. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in great plains grassland. **Soil Science Society of América**, v. 51, p. 1173-1179, 1987.

PELLETIER, A.; SYGUSH, J. Purification and characterization of three chitosanase activities from *Bacillus megaterium* P1. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 56, p. 844-848, 1990.

PEREIRA, J. C.; NEVES, M. C. P.; DROZDOWICZ, A. Influência da antibiose exercida por actinomicetos às estirpes de *Bradyrhizobium* spp., na nodulação da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 99-108, 1999.

PEREZ, K. S. S.; RAMOS, M. L. G.; McMANUS, C. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 567-573, 2004.

PEZARICO, C. R.; VITORINO, A. C. T.; MERCANTE, F. M.; DANIEL, O. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 56, p. 40-47, 2013.

PREVIATI, R.; SILVA, J. R. R.; SOUZA, C. R.; JANKE, L. Isolamento e quantificação das populações de bactérias em geral e de Actinomicetos presentes no solo. **Arquivos de Ciência Veterinária e Zoologia**, v. 15, p. 155-160, 2012.

REIS, E. **Estatística multivariada aplicada.** 2. ed. Lisboa: Silabo, 2001.

REIS JUNIOR, F. B.; MENDES, I. C. **Biomassa microbiana do solo.** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007. 40p. (Documentos, 205).

RENELLA, G.; MENCH, M.; LANDI, L.; NANNIPIERI, P. Microbial activity and hydrolase synthesis in long-term Cd-contaminated soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 37, p. 133-139, 2005.

ROLDÁN, A.; CARAVACA, F.; HERNÁNDEZ; GARCÍA, C.; SÁNCHEZ-BRITO, C. VELÁSQUEZ, M. TISCAREÑO, M. No-tillage, crop residue additions, and legume cover cropping effects on soil quality characteristics under maize in Patzcuaro watershed (Mexico). **Soil and Tillage research**, v. 72, p. 65-73, 2003.

SANTOS, L. S.; SANTOS, J. C. L.; SOUZA FILHO, A. P. S.; CORRÊA, M. J. C.;

VEIGA, T. A. M.; FREITAS, V. C. M.; FERREIRA, I. C. S.; GONÇALVES, N. S.; SILVA, C. E.; GUILHON, G. M. S. P. Atividade alelopática de substâncias químicas isoladas do capim-marandu e suas variações em função do pH. **Planta Daninha**, v. 26, p. 531-538, 2008.

SANTOS, M. N. **Método de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro e seus efeitos na agregação e em frações da matéria orgânica do solo**. 2005. 74f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG, 2005.

SCHMITZ, J. A. K. **Indicadores biológicos de qualidade do solo**. 2003. 234f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS, 2003.

SEPLAN-MT - Secretaria de Planejamento do Estado de Mato Grosso. Mapa A001. Mapa de Solos do Estado de Mato Grosso. Zoneamento socioeconômico ecológico, PRODEAGRO. 2001. Disponível em: <<http://201.49.164.155/~seplandownloads/index.php/component/jdownloads/viewdownload/1390-mapas-tematicos-1500-pdf/2562-a001-mapa-de-solos-do-estado-de-mato-grosso?Itemid=>>>. Acesso em: 07 de julho de 2013.

SILVA, E. E. da; AZEVEDO, P. H. S. de; DE-POLLI, H. **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO₂)**. Seropédica: Embrapa e Agrobiologia, 2007. 4 p. (comunicado técnico, 99).

SILVA, F. A. S. E.; AZEVEDO, C. A. V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 4, p. 71-78, 2002.

SILVA, R. R. da; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. de 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 de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1585-1592, 2010.

SILVEIRA, A. P. D. da; FREITAS, S. dos S. **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2007. 312p.

SINSABAUGH, R. L. Enzymatic analysis of microbial pattern and process. **Biology and Fertility of Soils**, v. 17, p. 69-74, 1994.

SINSABAUGH, R. L.; MOORHEAD, D. L. Resource allocation to extracellular enzyme production: a model for nitrogen and phosphorus control of litter decomposition. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 26, p. 1305-1311, 1994.

SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. **Biotecnologia do solo: Fundamentos e perspectivas**. Brasília: MEC Ministério da Educação, ABEAS; Lavras: ESAL, FAEPE, 1988. 236p.

SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. de S.; GRISI, B. M.; HUNGRIA, M.; ARAUJO, R. S. **Microorganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 142p. (EMBRAPA-CNPAF. Documentos, 45).

SISTLA, S. A.; SCHIMEL, J. P. Seasonal patterns of microbial extracellular enzyme activities in an arctic tundra soil: Identifying direct and indirect effects of long-term summer warming. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 66, p. 119-129, 2013.

SNAKIN, V. V.; KRECHETOV, P. P.; KUZOVNIKOVA, T. A.; ALYABINA, I. O.; GUROV, A. F.; STEPICHEV, A. V. The system of assessment of soil degradation. **Soil Technology**, v. 8, p. 331-343, 1996.

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

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; TOMMM, G. O. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p.130, 2009.

SPOSITO, G.; ZABEL, A. The assessment of soil quality. **Geoderma**, v. 114, p. 143-144, 2003.

SPSS. **IBM SPSS Statistics 19 Brief Guide**. SPSS, 2010. 171p.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER, R. W.; SCOTT, A.; BOTTOMELEY, P. J. **Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties**. Madison: Soil Science Society of America, Part 2. 1994. p. 778-835. (Special Publication, 5).

TABATABAI, M. A. Sulfur. In: Page A. L., Freney J. R., Miller R. H. **Methods of Soil Analysis**. Madison: Chemical and Microbiological Properties, Part 2. ASA-CSSA-SSSA. 1982. p. 501-538.

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 1, p. 301-307, 1969.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. **Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo**. In: ALVAREZ, V. V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F. de; MELLO, J. W. V. de; COSTA, L. M. da. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2002. p. 195-276.

TORSVIK, V.; OVREAS, L.. Microbial diversity and function in soil: from genes to ecosystems. **Current Opinion in Microbiology**, v. 5, p. 240-245, 2002.

VAN DEN BOSSCHE, A.; DE BOLLE, S.; DE NEVE, S.; HOFMAN, G. Effect of tillage intensity on N mineralization of different crop residues in a temperate climate. **Soil and Tillage Research**, v. 103, p. 316-324, 2008.

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

VENDER, A. Propriedades físicas de um latossolo Vermelho-Amarelo submetido a sete anos de Integração Lavoura Pecuária no norte de Mato Grosso. 2012. 44f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais – Cursode Agronomia, Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop-MT, 2012.

VISSER, S.; PARKINSON, D. Soil Biological criteria as indicators of soil quality: Soil microorganisms. **American Journal of Alternative Agriculture**, v. 7, p. 33-37, 1992.

VOBIS, G. Morphology of actinomycetes. In: MIYADOH, S. **Atlas of actinomycetes**. Japan: Asakura. 1997. p. 180-191.

WALLENSTEIN, M. D.; WEINTRAUB, M. N. Emerging tools for measuring and modeling the *in situ* activity of soil extracellular enzymes. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 40, p. 2098-2106, 2008.

WILLIAMS, S. T.; DAVIES, F. L.; HAYFIELD, C. I.; KHAN, H. R. Studies on the ecology of Actinomycetes in soil. II - The pH requirements of actinomycetes from two acid soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 3, p. 187-195, 1972.

WOLLUM, A. G. Cultural methods for soil microorganisms. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. **Methods of soil analysis**. Madison: Soil Science Society of America. 1982. p. 781-802.

ZILLI, J. E.; RUMJANEK, N. G.; XAVIER, G. R.; COUTINHO, H. L. C.; NEVES, M. C. P. Diversidade microbiana como indicador de qualidade do solo. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, v. 20, p. 391-411, 2003.

7. APÊNDICES

APÊNDICE 1. Matriz de correlação linear entre as variáveis microbiológicas e climáticas de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico em Santa Carmem, MT, sob cinco sistemas de integração Lavoura-Pecuária, uma mata nativa e uma área de sucessão de culturas (soja/milho), na camada de 0-20 cm, coletados em janeiro de 2012 e 2013, no município de Santa Carmem, MT.

Correlação	Bac.	Fung.	Act.	CeL.	β glico.	F. Ácida	F. Alcal.	Urease	CBM	RB	qCO ₂	Precip.	Temp.	Umida.
Bac.	1													
Fung.	0,589	1												
Act.	0,110	0,490	1											
CeL.	0,791	0,701	0,315	1										
β-Glico.	-0,296	-0,409	-0,187	-0,613	1									
F. Ácida	0,107	-0,309	-0,273	-0,334	0,862	1								
F. Alcal.	-0,278	-0,405	-0,335	-0,589	0,969	0,846	1							
Urease	0,415	0,532	0,108	0,611	-0,825	-0,579	-0,826	1						
CBM	0,179	-0,317	-0,260	-0,155	0,605	0,698	0,580	-0,604	1					
RB	0,285	-0,033	0,037	0,164	0,477	0,673	0,390	-0,167	0,649	1				
qCO₂	0,188	0,354	0,407	0,479	-0,349	-0,325	-0,384	0,495	-0,545	0,052	1			
Precip.	0,469	0,488	0,152	0,738	-0,943	-0,690	-0,921	0,901	-0,473	-0,207	0,366	1		
Temp.	-0,469	-0,488	-0,152	-0,738	0,943	0,690	0,921	-0,901	0,473	0,207	-0,366	-1	1	
Umida.	0,469	0,488	0,152	0,738	-0,943	-0,690	-0,921	0,901	-0,473	-0,207	0,366	1	1	1

APÊNDICE 2. Variância total dos autovalores associados aos componentes principais, com sua importância relativa (Variância %) e o cumulativo, referente às variáveis microbiológicas e climáticas, geradas a partir de médias, sob cinco sistemas de integração Lavoura-Pecuária, uma mata nativa e uma área de sucessão de culturas (soja/milho), na camada de 0-20 cm, coletados em janeiro de 2012 e 2013, no município de Santa Carmem, MT.

Componentes Principais	Autovalores iniciais			Soma de extração das cargas	
	Total	Variância (%)	Cumulativo (%)	Total	Variância (%)
1	7,97	56,94	56,94	7,97	56,94
2	2,43	17,40	74,34	2,43	17,40
3	1,45	10,35	84,70	1,45	10,35

APÊNDICE 3. Coeficientes de correlação de Pearson, entre as variáveis microbiológicas e climáticas e os componentes principais 1, 2 e 3, sob cinco sistemas de integração Lavoura-Pecuária, uma mata nativa e uma área de sucessão de culturas (soja/milho), na camada de 0-20 cm, coletados em janeiro de 2012 e 2013, no município de Santa Carmem, MT.

Variáveis	Componente Principal		
	1	2	3
Temperatura	-0,98*	0,09	-0,15
Precipitação	0,98*	-0,09	0,15
Umidade	0,98*	-0,09	0,15
B-glicosidase	-0,91*	0,36	-0,15
Urease	0,87*	-0,12	0,24
Fosfatase alcalina	-0,86*	0,34	-0,24
Celulolíticos	0,74*	0,39	0,44
Respiração basal	-0,20	0,83*	0,09
CBM	-0,36	0,73*	-0,42
Bactérias	0,56	0,69*	0,21
Fosfatase ácida	-0,62	0,68*	-0,22
Actinomicetos	-0,01	-0,07	0,85*
$q\text{CO}_2$	0,25	-0,10	0,73*
Fungos	0,46	0,20	0,65*

*Valores em negrito se referem a variável com o maior coeficiente associado a cada componente principal. CBM = Carbono da Biomassa Microbiana e $q\text{CO}_2$ = quociente metabólico.