

2016-03-28

# Atributos microbiológicos do solo sob sistemas integrados de produção

Souza, Dayane Aparecida de

Universidade Estadual do Norte do Paraná

---

SOUZA, Dayane Aparecida de. Atributos químicos e microbiológicos do solo nos sistemas integrado de produção. Orientador: Leopoldo Sussumu Matsumoto. 2020. 72p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Campus Luiz Meneghel, Universidade Estadual do Norte do Paraná, Bandeirantes, 2020.

<https://repositorio.uenp.edu.br/handle/123456789/472>

*Baixado de Repositório Institucional UENP*



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE DO PARANÁ**  
**UENP - *CAMPUS* LUIZ MENEGHEL**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**DAYANE APARECIDA DE SOUZA**

**ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO SOB  
SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO**

**BANDEIRANTES, PR, BRASIL**

**2016**

DAYANE APARECIDA DE SOUZA

**ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO SOB  
SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de  
Mestrado em Agronomia, da Universidade  
Estadual do Norte do Paraná, *Campus*  
Luiz Meneghel.

Orientador: Prof. Dr. Leopoldo Sussumu  
Matsumoto

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Mayra Costa da  
Cruz Gallo de Carvalho

BANDEIRANTES, PR, BRASIL  
2016

Ficha catalográfica elaborada pelo autor, através do  
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UENP

S719a Souza, Dayane Aparecida de  
ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO SOB SISTEMAS  
INTEGRADOS DE PRODUÇÃO / Dayane Aparecida de Souza;  
orientador Leopoldo Sussumu Matsumoto/ co  
orientador Mayra Costa Cruz Gallo de Carvalho. -  
Bandeirantes, 2016  
72 p.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) -  
Universidade Estadual do Norte do Paraná, Centro de  
Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em  
Agronomia, 2016.

1. Integração Lavoura-Pecuária e Floresta. 2.  
Atributos microbiológicos. 3. Bioindicadores de  
qualidade do solo. 4. Pecuária sustentável. 5.  
Agricultura sustentável. I. Matsumoto, Leopoldo  
Sussumu, oriente. II. Carvalho, Mayra Costa Cruz  
Gallo de, co-orient. III. Título

CALL0.2.1.1.5

DAYANE APARECIDA DE SOUZA

# **ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO SOB SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado  
em Agronomia, da Universidade Estadual do Norte  
do Paraná, *Campus* Luiz Meneghel.

Aprovada em:     /     /

## COMISSÃO EXAMINADORA

Prof <sup>ª</sup> . Dr <sup>ª</sup> . Luciana Grange	(UFPR – Palotina)
Prof. Dr. Marcelo Alves da Silva	(UENP-Bandeirantes)
Prof. Dr. Marco Antonio Bacellar Barreiros	(UFPR – Palotina)
Prof <sup>ª</sup> . Dr <sup>ª</sup> . Mayra Costa da Cruz Gallo de Carvalho	(UENP - Bandeirantes)
Prof. Dr. Petrônio Pinheiro Porto	(UENP - Bandeirantes)

---

Prof. Dr. Leopoldo Sussumu Matsumoto  
Orientador  
Universidade Estadual do Norte do Paraná  
*Campus* Luiz Meneghel

## **DEDICATÓRIA**

À Deus pela vida, a meu pai e minha mãe e família, aos meus amigos (da vida e de trabalho) e ao meu orientador pelo apoio, força, incentivo, companheirismo e amizade. Sem eles nada disso seria possível.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por me amparar nos momentos difíceis, me dar força interior para superar as dificuldades, mostrar os caminho nas horas incertas e me suprir em todas as minhas necessidades.

Aos meus pais, por me terem dado educação, valores e por me terem ensinado a andar. A meu pai Osvaldo (*in memoriam*), que onde quer que esteja, nunca deixou de me amar, nem de confiar em mim. Pai, meu amor eterno. À minha mãe Fátima pelo amor incondicional. A vocês que, muitas vezes, renunciaram aos seus sonhos para que eu pudesse realizar o meu, partilho a alegria deste momento.

Aos meus irmãos Renata e André, tia Gislaine e Zilda (*in memoriam*), sobrinho Murilo e minha vó Maria (*in memoriam*) que sempre me ajudaram de alguma forma;

Aos irmãos que Deus colocou em minha vida e escolhi para conviver: Priscila, Irina, Gabriela, Fernanda, Melina, Daniele, Viviane, Camilla, Diogo, Ricardo e Fernando;

Aos amigos e companheiros de laboratório, Esmeralda, Gilberto, Rodrigo, Ana Carolina, Gabriela, Luís e Maria Imaculada, pela convivência no que é impossível ser chamado apenas de trabalho;

A todos os professores do curso de mestrado em Agronomia da UENP pelo convívio e aprendizado.

Ao meu orientador, prof. Dr. Leopoldo Sussumu Matsumoto, pela confiança, paciência, inspiração, tempo e ensinamentos.

Ao Sr. João Batista Barbi pela disposição de acompanhar e contactar as áreas estudadas neste trabalho, sem isso, não seria possível a execução do ensaio.

**MEUS SINCEROS AGRADECIMENTOS.**

*“É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota.” (Theodore Roosevelt)*

SOUZA, Dayane Aparecida de. Atributos químicos e microbiológicos do solo nos sistemas integrado de produção. 2016. Dissertação de Mestrado em Agronomia - Universidade Estadual do Norte do Paraná, Campus Luiz Meneghel, Bandeirantes, 2016.

## RESUMO

A agricultura e a pecuária vêm sofrendo grande desgaste devido ao manejo inadequado, decorrentes de práticas inadequadas no uso de fertilizantes, defensivos, monocultivo intensificado, além da degradação das pastagens decorrentes do manejo inadequado de animal. Assim, novas técnicas de manejo com melhor uso da terra, como os sistemas integrados de produção, são opções mais sustentáveis. Este trabalho teve por objetivo avaliar os atributos microbiológicos nos sistemas de produção integrados. Foram estudadas áreas de integração lavoura-pecuária-floresta (agrosilvipastoril), integração lavoura-pecuária (agropastoril), agricultura convencional e mata nativa como padrão de equilíbrio. Para as análises microbiológicas foram determinados o carbono da biomassa microbiana, a respiração basal e os quocientes metabólicos e microbianos, além dos grupos funcionais de microrganismos e porcentagem de micorrização. Foram realizadas as avaliações agronômicas como, número de inflorescência e peso seco de plantas. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Os resultados obtidos nas áreas sob sistema integrado apresentaram, em quase todos os parâmetros analisados, maior comunidade microbiana, maior teor de matéria orgânica, menor estresse, melhor eficiência na disponibilização de nutriente e maior massa seca das plantas quando comparado ao sistema convencional. No sistema agrosilvipastoril nos renques há competição por água entre a silvicultura e a cultura da soja, fato que prejudicou o desenvolvimento das plantas e a comunidade microbiana. Na área agrosilvipastoril entre-renques e agropastoril apresentaram melhores condições ambientais e edáficas.

Palavras-chaves: Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária e Floresta, comunidade microbiana, soja e micorriza.

SOUZA, Dayane Aparecida. Chemical and microbiological soil attributes in integrated production systems. 2016. Dissertação de Mestrado em Agronomia - Universidade Estadual do Norte do Paraná, Campus Luiz Meneghel, Bandeirantes, 2016.

#### ABSTRACT

Agriculture and livestock are suffering wear and tear due to inadequate management arising from inappropriate practices in the use of fertilizers, pesticides, monoculture intensified, beyond the pasture degradation resulting from inadequate management of animal. Thus, new management techniques with better land use, such as integrated production systems, are more sustainable options. This study aimed to evaluate the chemical and microbiological attributes in integrated production systems. Integration areas were studied crop-livestock-forest, integration crop-livestock, conventional agriculture and native forest as a balancing standard. Microbiological analysis were determined the microbial biomass carbon, basal respiration and metabolic and microbial quotients, in addition to the functional groups of microorganisms and percentage of mycorrhizal infection. Agronomic evaluations as, number of inflorescence and dry weight of plants were performed. The results were submitted to analysis of variance and means were compared by Tukey test ( $p < 0.05$ ). The results obtained in the areas under integrated system presented in almost all parameters, higher microbial community, and higher organic matter content, less stress, better efficiency in providing nutrient and greater dry mass of plants when compared to the conventional system. In integration, crop livestock forest system in the rows there is competition for water between forestry and soybean, a fact that undermines the development of plants and the microbial community. In integration crop livestock forest system area among rows and integration crop livestock system showed better environmental and soil conditions for cropping.

Key words: Integration crop livestock forest system, microbial community, soy and mycorrhizal

## ABREVIATURAS

AC – Agricultura Convencional

ACT – População de Actinomicetos.

Al<sup>3+</sup> – Alumínio trocável

AMI – População de Amilolíticos;

AP – Agropastoril

ASP – Agrosilvipastoril

ASP-ER – Agrosilvipastoril Entre-Renque

ASP-R – Agrosilvipastoril Renque

BMS – Biomassa Microbiana do Solo

C – Carbono

Ca<sup>2+</sup> – Cálcio trocável

CaCl<sub>2</sub> – Cloreto de cálcio

CBMS – Carbono da Biomassa Microbiana do Solo

C-CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono

CEL – População de Celulolíticos;

CEPEA/DEAS/USP – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada do Departamento de Economia, Administração e Sociologia da Universidade de São Paulo

CHCl<sub>3</sub> – Clorofórmio livre de etanol

CLM – *Campus* Luiz Meneghel

cm – Centímetro

cmol<sub>c</sub> – Centimol de carga

CNA – Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil

COT – Carbono Orgânico Total

CTC – Capacidade de Troca Catiônica

DNA – Ácido Desoxirribonucleico

FMA – Fungos Micorrízicos Arbusculares

H<sup>+</sup> Al – Acidez Potencial

H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> – Ácido Fosfórico concentrado

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – Ácido Sulfúrico

ILPF – Integração Lavoura-Pecuária Floresta

K<sup>+</sup> – Potássio trocável

K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – sulfato de potássio

K<sub>c</sub> – Coeficiente de extração  
KCl – Cloreto de potássio  
Kg – Quilograma  
M – Mol  
m% – Saturação por alumínio  
MAPA – Ministério da Pecuária e Abastecimento  
Mg – Megagrama  
Mg<sup>2+</sup> – Íon Magnésio  
mL – Mililitro  
MO – Matéria Orgânica  
MOS – Matéria Orgânica do Solo  
MT – Mata Nativa  
N–N<sub>2</sub> – Nitrogênio  
NFB – População de Fixadores de N de vida livre;  
P – Fósforo  
pH – Potencial Hidrogeniônico  
PIB – Produto Interno Bruto  
PRO – População de Proteolíticos;  
Ps – Peso seco de solo (g).  
Psf – População de *Pseudomonas fluorescens* e  
qCO<sub>2</sub> – Quociente Metabólico  
qMIC – Quociente Microbiano  
R1 – Estádio Reprodutivo inicial - Início da floração: até 50% das plantas com flor.  
RBS – Respiração Basal do Solo  
RNA – Ácido Ribonucleico  
RPM – Rotações Por Minuto  
SB – Soma de Bases  
SP – Silvipastoril  
SPD – Sistema de Plantio Direto  
T – Tempo de incubação da amostra (horas)  
UENP - Universidade Estadual do Norte do Paraná  
V12 – Estádio Vegetativo final – décimo quarto nó do ramo principal com folíolos completamente abertos.

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1.** Visualização espacial do Estado do Paraná, em destaque Arenito Caiuá, na região Noroeste do Estado, onde foram realizadas as coletas de solo (Iporã, Perobal, Umuarama e Tapejara).

.....31

**Figura 2.** Quociente Microbiano (*qMIC*) das áreas analisadas na primeira coleta. **Dados:**<sup>(\*)</sup> [ASP-R] Sistema Agrosilvipastoril Renque; [ASP-ER] Sistema Agrosilvipastoril Entre Renque; [AP] Sistema Agropastoril; [AC] Agricultura Convencional; [MT] Mata.....42

**Figura 3.** Quociente Microbiano (*qMIC*) das áreas analisadas na segunda coleta. **Dados:**<sup>(\*)</sup> [ASP-R] Sistema Agrosilvipastoril Renque; [ASP-ER] Sistema Agrosilvipastoril Entre Renque; [AP] Sistema Agropastoril; [AC] Agricultura Convencional. ....42

**Figura 4.** Porcentagem de colonização micorrízica em áreas de integração e sem integração. **Dados:** [AP] Agropastoril; [ASP-R] Agrosilvipastoril nos renques; [ASP-ER] Agrosilvipastoril nos entre renques; [AC] Agricultura convencional. Médias seguidas de mesma letra não diferem no teste Tukey a 5%. ....43

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	- Descrição das áreas amostradas.	32
<b>Tabela 2.</b>	Meios de cultura utilizados para análise da comunidade microbiana.	37
<b>Tabela 3.</b>	Atributos microbiológicos em diferentes áreas de sistema de integração lavoura-pecuária e floresta.	39
<b>Tabela 4.</b>	Parâmetros fitométricos, matéria orgânica e umidade do solo em diferentes áreas de sistema de integração lavoura-pecuária e floresta.	44
<b>Tabela 5.</b>	Atributos microbiológicos nas áreas ASP e SP nos renque e entre-renques	45
<b>Tabela 6.</b>	Grupos funcionais de microrganismos em áreas de integração (agrosilvipastoril e agropastoril) e agricultura convencional, avaliados em setembro (1C) e dezembro (2C) de 2014.	46
<b>Tabela 7.</b>	Análise química do solo em áreas com sistema de integração (ASP [R e ER] e AP) e sem integração (AC e MT) realizada em setembro (1ª. Coleta) e dezembro (2ª. Coleta) – ANEXO 1-	57

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>17</b>
2.1	SETOR AGROPECUÁRIO BRASILEIRO .....	17
2.2	SISTEMA DE PRODUÇÃO INTEGRADA .....	18
2.3	MICROORGANISMOS DO SOLO .....	22
2.4	IMPORTÂNCIA DOS MICROORGANISMOS NA CICLAGEM DE NUTRIENTES .....	23
2.4.1	Grupos funcionais .....	24
2.4.2	Fungos Micorrízicos Arbusculares.....	27
2.5	BIOMASSA MICROBIANA .....	28
2.6	RESPIRAÇÃO MICROBIANA DO SOLO .....	29
2.7	MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO E QUOCIENTE MICROBIANO .....	30
2.8	PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO .....	30
<b>3</b>	<b>OBJETIVO GERAL</b> .....	<b>31</b>
3.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	31
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>31</b>
4.1	DELINEAMENTO DAS ÁREAS AMOSTRADAS .....	31
4.2	AMOSTRAGEM DO SOLO .....	34
4.3	DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO .....	34
4.4	DETERMINAÇÃO DE CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO .....	34
4.5	DETERMINAÇÃO DA RESPIRAÇÃO BASAL E QUOCIENTE METABÓLICO DO SOLO .....	36
4.6	DETERMINAÇÃO DO CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT) E QUOCIENTE MICROBIANO DO SOLO ( $q_{MIC}$ ).....	37
4.7	GRUPOS FUNCIONAIS DE MICROORGANISMOS .....	38
4.8	FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES.....	38
4.9	ANÁLISES AGRONÔMICAS.....	39
4.9.1	Avaliações na soja.....	39
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>39</b>
5.1	ANÁLISES COMPARATIVAS DOS ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS .....	39
5.2	MATÉRIA ORGÂNICA E QUOCIENTE MICROBIANO.....	41
5.3	FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM SOJA .....	44
5.4	ASPECTO AGRONÔMICO.....	45
5.5	GRUPOS FUNCIONAIS .....	46
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>47</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>48</b>
<b>8</b>	<b>ANEXO 1</b> .....	<b>58</b>

<b>9</b>	<b>ARTIGO A - ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO SOB SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO.....</b>	<b>59</b>
----------	--	-----------

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente na agricultura e na pecuária mundial tem se mostrado sinais de desgastes ambientais, sociais e econômico, decorrentes de práticas inadequadas no uso de fertilizantes, maquinários, defensivos agrícolas, monocultivo, degradação das pastagens decorrentes de manejo animal inadequado entre outros fatores.

Com isso, o solo sendo considerada a base essencial de todo o sistema, que abriga toda a biodiversidade tem sofrido grande desgaste, ocasionando na perda da produtividade, aparecimento de pragas e doenças além da degradação do mesmo.

Assim, o emprego de novas técnicas de produção se faz necessário, otimizando o uso da terra de forma sustentável e agregando formas diversificadas de renda para o produtor e renovando as condições edáficas deste solo, favorecendo a ciclagem de nutrientes de maneira natural, e evitando o uso indiscriminado de defensivos agrícolas, além de incentivar a rotação da atividade agrícola, pecuária e floresta através de sistemas de produção integrada como o sistema de integração lavoura-pecuária floresta (ILPF).

Mensurar os benefícios da integração na qualidade deste ecossistema “solo”, um microbioma dinâmico, de grande diversidade de organismos do micro, meso e macrofauna são complexos. Análises químicas e físicas tradicionais não são capazes refletir a verdadeira “saúde” do solo

O uso de indicadores de qualidade do solo se faz necessário para avaliação dos sistemas, e o emprego de parâmetros químicos, físicos e microbiológicos é de suma importância, que em conjunto podem refletir a realidade deste sistema que influenciam na qualidade do solo. Assim, a partir de análises completas a partir destes atributos, pode-se geral informações que possibilitarão melhor tomada de decisões sob o manejo adequado do solo.

Com isso, este trabalho teve por objetivo, avaliar os atributos químicos e microbiológicos nos sistemas de produção integrados, como agrosilvipastoril e agropastoril em comparação com agricultura convencional (sem integração).

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 SETOR AGROPECUÁRIO BRASILEIRO

O setor agropecuário no Brasil atualmente tem sofrido forte transformação, baseado no crescimento da produtividade e eficiência alocativa dos recursos. Assim, gerando a modernização de diversos setores, os quais incorporaram as mudanças tecnológicas ao longo do tempo (VIEIRA FILHO et al., 2011).

As práticas convencionais agrícolas e pecuárias apresentam sinais de “desgaste” econômica, sociais e/ou ambientais. Na agricultura os padrões de monocultivo intensificados e o uso indiscriminado de defensivos, fertilizantes e maquinários agrícolas empregados para garantir a lucratividade, acarretaram graves consequências para a sociedade e para o meio ambiente, dando origem e discussões acerca do desenvolvimento de padrões sustentáveis para a produção de alimentos, fibras, bioenergia e produtos madeireiros e não madeireiros (BALBINO et al., 2011). No entanto, tais práticas têm levado a perda de produtividade, acarretando no aparecimento de pragas e doenças, e degradação do solo. (MACEDO, 2009).

Na pecuária, esse cenário se repete, devido à degradação das pastagens e do solo, com elevada taxa de erosão (HERNANI et al., 2002), relacionados ao manejo animal inadequado, à baixa reposição de nutrientes no solo e ao baixo investimento tecnológico (AIDAR; KLUTHCOUSKI, 2003). Tais restrições trazem consequências negativas para a sustentabilidade da pecuária, tais como: baixa oferta de forragens, baixos índices zootécnicos e baixa produtividade de carne e leite por hectare, além de reduzido retorno econômico e ineficiência do sistema pecuária (BALBINO et al., 2011).

De acordo com CEPEA/DEAS/USP, (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada do Departamento de Economia, Administração e Sociologia da Universidade de São Paulo) e a CNA (Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil), o agronegócio em 2015 foi responsável por 23% do produto interno bruto (PIB) brasileiro, com estimativa de crescimento de 2,4% em 2016. A agricultura representa 70,5% e a pecuária 29,5% do PIB do agronegócio brasileiro (BRASIL, 2015).

Segundo MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) até 2020 a produção nacional de carnes representará 44,5% do mercado mundial. Com essa expectativa o Brasil se manterá como maior exportador de carne bovina (BRASIL, 2016).

Com isso, o uso intensificado da terra e as graves intervenções humanas têm acarretado em alterações na qualidade do solo. Sendo a qualidade do solo definida como a capacidade deste para funcionar dentro do ecossistema, permitindo sustentabilidade biológica, e contribuindo para a manutenção e crescimento de plantas, animais e do homem (BARETTA et al., 2010).

O equilíbrio dos ecossistemas depende das inter-relações entre seus componentes bióticos e abióticos. O solo é um recurso natural indispensável ao funcionamento dos ecossistemas terrestres, por ter funções como armazenamento de água, ciclagem de matéria, habitat para espécies, substrato para produção agrícola e meio físico para moradia e atividades humanas (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

Os organismos encontrados na camada superficial do solo possuem um papel determinante em processos de transformações, tais como: ciclagem de nutrientes, decomposição da matéria orgânica e melhoria dos atributos biológicos, químico e físicos, como a agregação, a porosidade e água infiltração (HUERTA; WAL, 2012).

Portanto, atributos físicos, químicos e microbiológicos podem ser usados como variáveis ambientais que explicam o funcionamento do solo, e avaliar a sua influência sobre a diversidade edáfica (VASCONCELLOS et al., 2013).

## 2.2 SISTEMA DE PRODUÇÃO INTEGRADA

Os sistemas agrossilvipastoris, que integram atividades agrícolas, pecuárias e florestais, são considerados atualmente, inovadores no Brasil, embora vários tipos de plantios associados entre culturas anuais e culturas perenes ou entre frutíferas e árvores madeiras sejam conhecidos na Europa desde a antiguidade (BALBINO, 2011).

Este sistema tem sido utilizado como alternativa vantajosa principalmente para pequenos e médios produtores, uma vez que apresenta potencial de benefícios aos animais, ao meio ambiente e ao pasto, aliados ao fornecimento de madeira e outros produtos, que servirão de renda ao produtor (SANTOS et al., 2008).

Os baixos rendimentos médios na região do cerrado, tem sido debitados à uma série de fatores, destacando-se a baixa eficiência na transferência de tecnologia; utilização intensiva da monocultura, principalmente a soja; subutilização de insumos agrícolas; degradação do solo ocasionada pelo uso inadequado de equipamentos e máquinas; erosão; perda da matéria orgânica do solo e época inadequada de semeadura pela ocorrência de veranicos na região (AIDAR; KLUTHCOUSKI, 2003).

Os sistemas agroflorestais vêm recebendo destaque devido a sua capacidade de melhorar a entrada de nutrientes no sistema, reduzir a perda de nutrientes e melhorar as propriedades físicas do solo, acarretando em uma melhoria nas características dos solos degradados. Esse tipo de sistema surge como uma opção interessante para assegurar a expansão da agropecuária, com baixa pressão sobre o avanço da fronteira agrícola, e estão de acordo com a estratégia de Agricultura de Baixo Carbono (Programa ABC) (GOUVELLO, 2010; HERRERO et al., 2010).

A sustentabilidade do sistema agrosilvipastoril está diretamente relacionada com a evolução do Sistema de Produção Florestal, do Sistema de Plantio Direto e a Integração Agricultura Pecuária. O sistema de Plantio Direto, devido as suas prerrogativas básicas, é de grande importância para as regiões tropicais, graças a efeitos na proteção do solo, rotação de culturas, economia em máquinas, equipamentos e mão-de-obra (FANCELLI; FAVARIN, 1989). No Brasil vem se consolidando a adoção desse sistema de plantio direto, pois na safra de 2015 estima-se que foram cultivados 57 milhões de hectares, representando aproximadamente cerca de 48% do total das áreas de agricultura (FEBRAPDP, 2015).

Os benefícios do sistema de produção integrada podem ser resumidos em benefícios agronômicos, zootécnicos, ecológicos, econômicos e sociais. No âmbito agronômico, recuperando e mantendo as características produtivas do solo; benefícios zootécnicos, possibilitando o estabelecimento de pasto com boa produtividade e valor nutritivo, resultando no melhor desempenho dos animais. O benefício ecológico pelo aumento da biodiversidade microbiana e a redução da biota nociva às espécies cultivadas e conseqüentemente a redução de defensivos agrícolas e da erosão; no econômico através da diversificação de produtos agrícolas com melhor custo benefício; os benefícios sociais com a melhor distribuição de renda, gerando tributos, geração de empregos diretos e indiretos, e ocasionando a possibilidade da fixação do homem no campo. (SANTOS et al., 2008).

Assim, a diversificação das atividades agropecuárias tem grande potencial para o aumento na fonte de renda do produtor e com isso a diminuição dos riscos operacionais associados aos sistemas de produção (LAZZAROTTO et al., 2010).

Nos sistemas agrossilvipastoris, o estabelecimento de forrageiras vem crescendo nos últimos anos em todo o território brasileiro. Esse fato ocasionado, principalmente, aos benefícios gerados, tais como pasto formado após colheita da cultura agrônômica (SANTOS et al., 2008).

Apesar dos benefícios, esse tipo de sistemas de consorciação ainda é relativamente pequeno no Brasil, com cerca de 1,5 milhão de hectares, neste sistema de integração, o

equivalente a 0,66% do total das áreas cultivadas no país (BALBINO et al., 2011). Fato este pela resistência a mudanças e a falta de capacidade gerencial, equipes especializadas. (VILELA et al., 2011).

Além disso, há receio por parte dos produtores em relação à adoção do sistema de integração, o fato dos animais no pisoteio intenso em solos úmidos nas áreas de lavoura podem ocasionar compactação do solo, pela redução na macroporosidade, aumento da densidade do solo e redução da infiltração de água nas camadas mais superficiais (BERTOL et al., 2000).

Em sistemas integrados onde há a utilização de plantio direto, proporciona ao solo um acúmulo de matéria orgânica, tornando este solo estruturado e coberto com plantas vivas ou com palhas, uma peça chave para que o solo suporte a ação mecânica do pisoteio de animais, sem que haja compactação. A palha dissipa parte da energia do impacto mecânico do pisoteio e este o solo estruturado possui maior resistência à deformação decorrente da aplicação de cargas sobre a superfície (BRAIDA et al., 2006).

Estudos têm mostrados que quando a carga animal é feita de maneira adequada, as alterações nos atributos físicos são pequenas, com isso não acarretando dano à cultura em sucessão ao pastejo em safras sem a ocorrência de períodos de estiagem (CASSOL, 2003).

A degradação das pastagens é um processo ocasionado pela perda de vigor, da produtividade e da recuperação natural das pastagens para manter economicamente os níveis de produção e de qualidade exigidas pelos animais, e suplantam os efeitos nocivos das pragas, doenças e plantas daninhas, associadas com o processo de degradação avançada dos recursos naturais ocasionadas por manejos inadequados (MACEDO, 2001).

Dos cerca de 173 milhões de hectares de pastagens no Brasil, 117 milhões de hectares são de pastagens cultivadas, com uma lotação média de 1,0 unidade animal ha<sup>-1</sup>. Estima-se que mais de 70% das pastagens cultivadas encontra-se em algum estágio de degradação, sendo que destas uma grande parte em estágios avançados de degradação. A proporção de pastagens em condições ótimas ou adequadas não deve ser superior a 20%. Das pastagens cultivadas mais de 70% são do gênero *Brachiaria*, o que permite inferir que no Brasil são cultivados mais de 80 milhões de hectares com pastagens dessa espécie. Dentre estas, 90% da área é ocupada por duas espécies: *B. brizantha* e *B. decumbens*. Para *B. brizantha* a predominância é de cultivar Marandu, e mais recentemente aparecem as cultivares Xaraés e Piatã. Na espécie *B. decumbens* a predominância é da cultivar Basilisk. (ZIMMER et al., 2011).

A utilização da *Brachiaria ruzizienses* tem sido muito utilizada em sistemas agrossilvipastoris, por estar associada a uma boa produção de sementes e fácil estabelecimento, e além de não formar touceiras grandes com difícil destruição desta. A *B. ruzizienses* não apresenta fator tóxico para o animal, além de ser palatável. Pode ser utilizados em diversos tipos de solo por sua fácil adaptação (VILELA, 2016).

Na grande parte das áreas de pastagem, ainda se faz em monocultivo, em solos de baixa fertilidade e com manejo inadequado, trazendo grande risco para nossa pecuária nacional, principalmente com o acelerado processo de degradação dessas pastagens. Este é o fator de maior importância, pois compromete a sustentabilidade da produção animal, e pode ser explicada como um processo dinâmico de degeneração ou de perda significativa da produtividade (MACEDO, 2001).

O sistemas de produção com integração lavoura e pecuária manejado sob sistema plantio direto (SPD) têm mostrado maior rentabilidade por área, maior diversificação de atividades, menor risco econômico e menor custo de produção (BALBINOT Jr. et al., 2009; MACEDO, 2009). Porém, para serem viáveis, devem ser identificados regionalmente sistemas de produção de média e longa duração, que integrem a produção de grãos com a de pastagens perenes que predominam localmente. Assim, pode-se atingir a sustentabilidade e podem-se obter melhores resultados econômicos.

Em solos com SPD, ocorre o acúmulo de matéria orgânica, P (fósforo) e de K (potássio), nas camadas superficiais. Com o aumento da matéria orgânica nestes solos não revolvidos, ocorre a diminuição da taxa de decomposição desta matéria pela microbiota, pelo fato da diminuição da temperatura e aeração, com isso aumentando a cobertura deste solo e a incorporação dos resíduos vegetais (POSTES et al., 2010).

A cobertura morta na superfície do solo é o principal componente de sucesso no sistema de plantio direto, pois este atua como regulador de temperatura e água no solo, no enriquecimento da matéria orgânica, na prevenção da erosão, entre outros (BRAZ et al., 2010).

Este aumento da matéria orgânica pode amenizar possíveis efeitos negativos da acidificação em solos sob sistemas de plantio direto (SPD) pela complexação de Al pelo carbono dissolvido na solução do solo (SPERA, 2009). Várias pesquisas que foram feitas constatam de que sistemas especializados de produção de grãos estão associados à deterioração da qualidade física do solo (AYARZA et al., 1999), com maiores perdas de solo e água maior incidência de pragas, doenças e invasoras (KLUTHCOUSKY et al., 2003) e com alterações desfavoráveis na população de fungos micorrízicos (MIRANDA et al., 2005).

O sistema de plantio direto, quando comparado à outras formas de manejo, observa-se uma potencialização no equilíbrio dinâmico do ecossistema, melhorando a entrada e saída de energia da matéria, conservando o potencial, ocasionado pela deposição da palhada nesse sistema. A qualidade e a quantidade de palhada depositada nessa cobertura dependerá de qual sistema de rotação adotado (DENARDIN, 2016).

A inclusão de plantas leguminosas em sistemas de produção é uma estratégia que deve ser avaliada em relação ao efeito nos estoques de carbono do solo. O aumento do rendimento de grãos das culturas comerciais em sucessão as plantas leguminosas também ocasionam um incremento da adição de resíduos vegetais não colhidos ao solo, favorecendo o acúmulo de MO e, conseqüentemente, de carbono (BODDEY et al., 2010).

Para que possa ocorrer a ciclagem de nutrientes é necessário que ocorra a decomposição do material vegetativo depositado sobre o solo. Quanto maior as taxas de decomposição favorecem a liberação mais rápida de nutrientes e o seu melhor reaproveitamento por parte da vegetação do sistema (ARATO et al., 2003). A taxa de decomposição da serapilheira é influenciada por vários fatores, entre eles pela relação C/N do material que a compõe. Quando a relação C/N é baixa favorece a decomposição da serapilheira, porque a quantidade de N nela influencia a velocidade da sua decomposição, ou seja, resíduos com alta relação C/N demoram mais para serem decompostos (MARQUES et al., 2000).

Nesse sentido, a presença de leguminosas arbóreas com potencial para fixação biológica de nitrogênio nos Sistemas Agrossilvipastoris é favorável porque elas podem diminuir a relação C/N da serapilheira, favorecer o processo de decomposição (GARCIA et al., 2010), melhorar a fertilidade do solo e contribuir para a manutenção e elevação da produtividade das pastagens (POWER et al., 2003). Além disso, o aproveitamento do solo no consórcio de uma leguminosa arbórea com outras espécies pode ser mais eficiente devido às diferenças no sistema radicular e nas exigências nutricionais (KLEINPAUL et al., 2010).

Assim, o sistema de integração lavoura-pecuária surge como alternativa a obtenção de renda no período de entressafra e a diversificação de atividades na propriedade agrícola o que é fundamental para uma agricultura eficiente produtiva e estável (MORAES et al., 2002; CASSOL, 2003).

### 2.3 MICRORGANISMOS DO SOLO

Sendo possuidor de particularidades, o solo em relação aos outros tipos de habitats terrestre apresenta uma complexa dinâmica e heterogeneidade (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). Entretanto, apesar do grande volume de informações já acumulada nosso real conhecimento sobre a dimensão, diversidade e o papel da microbiota do solo ainda requerem estudos (MOREIRA et al, 2008).

O solo possui seis funções principais sendo três ecológicas e três ligadas à atividade humana. Sendo as funções ecológicas a produção de biomassa (alimentos, fibras e energia); a filtração, tamponamento e transformação da matéria para proteger o ambiente; e o habitat biológico e reserva genética de plantas, animais e organismos. As funções ligadas à atividade humana, o meio físico que serve de base para estruturas industriais e atividades socioeconômicas, habitação, sistema de transportes e disposição de resíduos; as fontes de material particulado (areia, argila e minerais); e a parte da herança cultural, paleontológica e arqueológica, importante para preservação da história da humanidade (BLUM; SANTELISES, 1994).

Diversos tipos de atividades antropogênicas, podem afetar na diversidade microbiana, tanto acima quanto abaixo do solo, tais como o desenvolvimento urbano a agricultura, uso de pesticidas, e a poluição (KIRK et al, 2004).

#### 2.4 IMPORTÂNCIA DOS MICRORGANISMOS NA CICLAGEM DE NUTRIENTES

As bactérias e os fungos apresentam um papel fundamental nos ciclos biogeoquímicos (KIRK et al, 2004). A ciclagem dos nutrientes depende intensamente da atividade dos microrganismos edáficos, porém, qualquer alteração no ambiente pela atividade antrópica pode alterar a diversidade e funcionalidade dos microrganismos. Nesse contexto, organismos edáficos têm sido estudados e usados como indicadores biológicos no monitoramento das alterações ambientais decorrentes do uso de práticas agrícolas (SILVA et al., 2013).

Um ecossistema sustentável, tanto agrícola ou natural, depende do fluxo de nutrientes através dos níveis tróficos, sendo os microrganismos responsáveis pela ciclagem de nutrientes. Porém, quando esse ecossistema é alterado, como é o caso da agricultura, um novo equilíbrio é estabelecido (COSTA et al., 2015).

Em se tratando das funções dos microrganismos no solo, eles desempenham funções específicas, onde os mesmos são classificados de acordo com sua função no solo. Estes grupos funcionais participam do ciclo biogeoquímico do carbono, nitrogênio, enxofre, fósforo

e outros. Os microrganismos estão localizados na rizosfera, onde realizam transformações bioquímicas da matéria orgânica, promovendo ou inibindo o crescimento das plantas (ANDRADE et al, 1998).

#### 2.4.1 Grupos funcionais

##### 2.4.1.1 *Bactérias*

As bactérias são o grupo de microrganismos de ocorrência mais abundante no solo (ALEXANDER, 1977). São organismos procariontes e heterotróficos, que constituem cerca de 25 a 30% da biomassa microbiana total dos solos agrícolas. Estão envolvidas em processos importantes, como a fixação biológica de  $N_2$ , nitrificação, desnitrificação, decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e produção de substâncias promotoras de crescimento (PAUL; CLARK, 1989).

##### 2.4.1.2 *Actinobactérias*

Os actinobactérias representam um grupo bastante heterogêneo de microrganismos, com características mistas de fungos e bactérias. No solo, eles se apresentam em forma filamentosa, com hifas finas (0,5-1,2mm de diâmetro). A presença de actinobactérias no solo pode ser detectada pela produção de substâncias voláteis, com cheiro rançoso característico, denominadas “geosmin”, que emanam de solos recém-arados. São mais abundantes em solos secos e quentes, e raramente em solos turfosos e encharcados (SIQUEIRA, 1988).

O solo é considerado um habitat favorável à proliferação de microrganismos que formam colônias nas partículas. Esse número de bactérias oscila entre  $10^6$  e  $10^9$  células/grama de solo seco (BOWEN, 1980). Os microrganismos do solo em relação a outras populações bacterianas são numericamente inferiores, sendo, entretanto, mais numerosos que as populações de fungos. Normalmente, 10 a 50% da comunidade microbiana do solo são constituída por populações destes microrganismos (ALEXANDER, 1977).

As actinobactérias participam de processos importantes como a degradação de substâncias que normalmente não são decompostas por fungos e bactérias. Sendo uma das características importante a produção de enzimas extracelulares que degradam macromoléculas complexas que são encontradas no solo, como por exemplo, caseína, amido, quitina, húmus celulose (MOREIRA et al, 2008).

#### 2.4.1.3 Fungos

Os fungos são organismos eucariotos (podem ser unicelulares, como as leveduras, ou pluricelulares, ditos fungos filamentosos). As principais funções desempenhadas pela população fúngica no solo são a sua atividade heterotrófica sobre o material orgânico, o que torna os fungos agentes de controle biológico de outros fungos e nematóides fitopatogênicos, além de realizarem relações simbióticas mutualísticas (micorrizas) e parasíticas (doenças) importantes com as raízes da maioria das plantas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Considerando-se que os microrganismos constituem excelente indicador das condições biológicas do solo, além de seu efeito sobre a produtividade agrícola, torna-se importante o conhecimento do manejo do solo e da cobertura vegetal sobre a população microbiana (RUEGGER; TAUKE-TORNISIELO, 2004).

Há também, fungos micorrizos arbusculares (FMA) e sua associação com as plantas, embora os efeitos sejam menos pronunciados quando à rotação de culturas e à adubação, principalmente com fósforo. As arações de baixa profundidade e as adubações mais leves favorecem as micorrizas, enquanto as adubações pesadas, a monocultura com espécies anuais e o uso indiscriminado de agrotóxicos prejudicam o seu desenvolvimento (SIQUEIRA; FRANCO, 1988).

#### 2.4.1.4 Celulolíticos

A celulose é uma das únicas fontes renováveis de carbono, além de ser disponível em grandes quantidades em resíduos celulósicos, representando mais de 60% dos resíduos agrícolas. Em média, a produção anual de celulose pode atingir a casa dos 100 bilhões de toneladas. Esta celulose é hidrolisada enzimaticamente pela celulase, associada à outras enzimas como as endoglucanases e exoglucanases que são sintetizadas por microrganismos (VALENZUELA et al., 2001).

Apesar da grande variedade de microrganismos que sintetizam a celulase, no entanto, somente algumas são capazes de degradar a celulose. Os microrganismos são estimulados por exsudatos e tecidos radiculares destacados, sendo este efeito mais pronunciado para as bactérias, podendo a população bacteriana na zona rizosférica atingir valores superiores a cem vezes ao encontrado em zonas não-rizosféricas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

O efeito rizosférico varia com a espécie vegetal, sendo o das leguminosas, geralmente, mais pronunciado por unidade de superfície de raiz. Esse fato deve estar relacionado à menor relação C/N das excreções das plantas dessa família, o que facilita sua utilização pelos microrganismos. No entanto, as gramíneas, apesar das excreções com relação a C/N maiores, possuem um sistema radicular mais denso e de renovação mais intensa, que o das leguminosas (KOLB; MARTIN, 1988). Esse efeito é maior em pastagens perenes do que em culturas anuais.

Os microrganismos sendo um excelente indicador de qualidade do solo, ligado diretamente na produtividade agrícola, torna-se importante o conhecimento do solo e da cobertura vegetal sobre a população microbiana. Os solos submetidos ao plantio direto ou preparo reduzido apresentam um acúmulo superficial de resíduos orgânicos e nutrientes minerais, possibilitando a formação de uma camada de alguns centímetros muito favorável ao desenvolvimento microbiano. Com aumento da profundidade, as condições tornam-se adversas e a população diminui. (COELHO, 2008).

#### 2.4.1.5 *Proteolíticos*

As bactérias constituem o principal grupo de decompositores, sendo responsáveis pela ciclagem do carbono devido a sua capacidade de degradar compostos complexos e macromoléculas. Os microrganismos são bons produtores de proteases, visto que, possuem grande diversidade bioquímica e fácil manipulação genética (KASANA et al., 2011).

Além de desempenhar importantes funções nos ciclos biogeoquímicos e no funcionamento de ecossistemas, os microrganismos também possuem elevado potencial biotecnológico. As proteases são enzimas que degradam proteínas e são amplamente distribuídas em todos os seres vivos, desempenhando funções importantes para a manutenção da vida (SILVA, 2009).

#### 2.4.1.6 *Amilolíticos*

Enzimas são proteínas com estruturas químicas e finalidades biológicas específicas, podendo ser tanto encontradas em procaríotos quanto em eucaríotos elas são compostas por polímeros de aminoácidos, que atuam como catalisadores no metabolismo dos seres vivos (NELSON et al., 2003). As Enzimas são, em geral, denominadas de acordo com o substrato que atuam, portanto, a ação enzimática sobre o amido, que contém dois polissacarídeos

amilose (25%) e amilopectina (75%) ocorre pela amilase que é capaz de hidrolisar moléculas de amido liberando dextrinas e pequenos polímeros compostos de unidades de glicose (PANDEY et al., 2005).

O amido pode ser degradado por enzimas amilolíticas de vários microrganismos. Dentre esses devido às vantagens que oferecem, como menor tempo de produção, as amilases microbianas têm a preferência do mercado de enzimas. Sendo que as espécies do gênero *Bacillus* são consideradas as maiores produtoras de amilases (PANDEY et al., 2000).

#### 2.4.1.7 *Fixadores biológicos de nitrogênio*

O nitrogênio está presente nos aminoácidos, proteínas, DNA, RNA e em outras estruturas celulares. Apesar de ser o mais abundante dos elementos do ar atmosférico - aproximadamente 78% do ar é composto por nitrogênio - os animais e as plantas não são capazes de metabolizá-lo na forma gasosa e retirá-lo diretamente do ar.

A função de transformar o nitrogênio existente no ar atmosférico em formas assimiláveis para plantas e animais. A fixação biológica de nitrogênio (NFB) é realizada por bactérias fixadoras de nitrogênio e algumas algas azuis (cianobactérias), utilizando a enzima nitrogenase para realizar essa função (CABALLERO, 2016).

Antes de ser absorvido, o nitrogênio é retirado do ar e transformado em amônia solúvel em água, que é utilizado diretamente pela planta, quando ocorre o processo de NFB. O nitrogênio fixado pode, ainda, ser transformada no solo em nitrato, forma que também é disponível para as plantas (BALDANI et al., 2000).

#### 2.4.1.8 *Pseudomonas fluorescens*

Dentre as espécies bacterianas, o grupo das *Pseudomonas* é as mais estudadas, devido à sua ampla distribuição no ambiente sendo essa encontrada tanto na água, solo e plantas e por sua facilidade de cultivo (AAGOT et al., 2001).

As *Pseudomonas* no ambiente possuem diversos tipos de funções, que incluem a biodegradação de compostos naturais e xenobióticos, promotores de crescimento de plantas e patógenos de plantas. *Pseudomonas* é ainda um gênero de grande importância em processos industriais envolvendo biotransformações (HAAS, 2005).

#### 2.4.2 Fungos Micorrízicos Arbusculares

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) apresentam baixa especificidade em relação aos seus hospedeiros, ou seja, são capazes de colonizar diferentes espécies de plantas podendo influenciar em sua diversidade e sua produtividade, principalmente pelo aumento da absorção de nutrientes do solo, especialmente em ambiente sob estresse de natureza biótica e abiótica (CARDOSO et al., 2010).

Em áreas de cultivo agrícola onde há pouco revolvimento do solo, ocorre maior facilidade de absorção de nutrientes do solo pelas plantas colonizadas por FMA. Isto se deve à capacidade da planta associada aos FMA em explorar um volume maior de solo associadas ao sistema radicular da planta, aumentando a absorção de nutrientes, além do incremento de sítios de absorção, principalmente para o P, um elemento bastante crítico em solos de ecossistemas florestais tropicais e limitante para as plantas (CARDOSO et al., 2010), além da melhoria de sua propriedade física, uma vez que o micélio extra radicular promove a agregação de partículas do solo (CARDOSO; KUYPER, 2006).

A síntese e a exsudação de glicoproteínas hidrofóbicas (glomalinas) envolvidas na cimentação dessas partículas (RILLIG, 2004; RILLIG et al., 2010), aumento do estoque de carbono (alta estabilidade) e, conseqüentemente, melhoria da qualidade do solo e produtividade biológica ocasionadas pela associação dos fungos micorrízicos arbusculares (PURIN; RILLIG, 2007).

Nessa associação, os FMA são capazes de propiciar à planta hospedeira diversos benefícios tais como: favorecimento na absorção de água e nutrientes (principalmente os pouco móveis no solo) proteção contra patógenos de solo, efeito sobre a diversidade e composição de plantas (CARDOSO et al., 2010). Além disso, as hifas extra-radiculares promovem a agregação de partículas de solo pelo contato físico e pela síntese e exsudação de proteínas específicas que atuam na cimentação das mesmas (RILLIG et al., 2010).

Dependendo da abundância e composição da comunidade de FMA pode sofrer influência da variação dos fatores edafoclimáticos nos ecossistemas naturais e dos impactos antrópicos tais como: preparo do solo, tipo de cultivo, aplicação de fertilizante, poluição do solo, entre outros (JANSA et al., 2009)

## 2.5 BIOMASSA MICROBIANA

A biomassa microbiana do solo (BMS) é um dos componentes que controla a decomposição e o acúmulo de matéria orgânica e as transformações relacionadas com

nutrientes minerais. É constituída por diversos grupos de organismos, que atuam em processos de manutenção do ecossistema (LOPES et al., 2012).

A BMS representa importante indicador ecológico, pois é responsável pela decomposição e mineralização dos resíduos vegetais e animais do solo. Além de ser o reservatório de nutrientes e energia, os quais passam a ser disponíveis às plantas por mais tempo, pois não sofrem lixiviação, volatilização e imobilização na mesma intensidade de nutrientes livres. (JENKINSON; LADD, 1981). Assim sendo, maior conteúdo de biomassa microbiana, maior será a capacidade de estocagem e ciclagem de nutrientes (BERTHRONG et al., 2013).

A dinâmica da biomassa microbiana está estreitamente correlacionada à dinâmica da matéria orgânica do solo. A maioria dos sistemas naturais é fortemente limitada por nutrientes, o que faz com que os microrganismos tenham crescimento lento, até mesmo diminuindo sua atividade metabólica (GOTTSCHAL, 1990).

## 2.6 RESPIRAÇÃO MICROBIANA DO SOLO

A determinação da biomassa microbiana do solo é feita através da quantificação do carbono (CBMS), e funciona como indicador de quantidade de microrganismos presente no solo, sem estar associada à vida e a função destes no ambiente, assim sendo, o uso de outros parâmetros, como a respiração basal do solo (RBS), medida através da emissão de dióxido de carbono pela população microbiana do solo, fornece dados referentes à atividade metabólica da comunidade. (DE-POLLI; GUERRA, 2008).

A relação entre o carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS) e as taxas liberadas de CO<sub>2</sub> via respiração basal do solo (RBS), através da atividade metabólica, são capazes de gerar dados mostrando a tendências de estresses causados por distúrbios, estes níveis gerados através do quociente metabólico ( $q\text{CO}_2$ ) (ANDERSON; DOMSCH, 1989).

A decomposição dos resíduos orgânicos no solo de ecossistemas florestais, realizada por microrganismos heterotróficos aeróbios e anaeróbios, pode ser medida por meio da quantificação do C-CO<sub>2</sub> liberado durante o processo respiratório, o qual também é conhecido como carbono mais prontamente metabolizável do solo e reflete a atividade da microbiota do solo (ALVAREZ et al., 1995; BASTIDA et al., 2008).

O emprego do  $q\text{CO}_2$  como bioindicador fundamenta-se na teoria da respiração da comunidade, onde o aumento da respiração pode ser um dos primeiros sinais de estresse, já a remediação de danos gerados por distúrbios no solo ocasiona um desvio energético do

crescimento e da reprodução para a manutenção celular (ODUM,1985). Dessa forma, quocientes metabólicos mais altos representam condições mais estressantes à comunidade microbiana, visto maior desequilíbrio do solo.

A determinação do C-CO<sub>2</sub> é um indicador muito utilizado no entendimento do processo de mineralização e fluxo de energia em solo de ecossistemas naturais e agrícolas (BARETTA et al., 2010).

O conhecimento da dinâmica da BMS pode auxiliar os estudos que visam à conservação da matéria orgânica do solo e ao melhor aproveitamento do material orgânico adicionado ao sistema (DE-POLLI; GUERRA, 2008).

## 2.7 MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO E QUOCIENTE MICROBIANO

A atuação da matéria orgânica no fornecimento de carbono e energia aos microrganismos determina o acúmulo ou perda de material orgânico, o qual é representado pela relação entre carbono microbiano e carbono orgânico total (CBMS/COT), denominado de quociente microbiano ( $q_{MIC}$ ), resumindo a quantidade de carbono vivo do solo, sendo que o aumento de tal relação resulta de melhor qualidade da matéria orgânica presente no solo, quando comparados diferentes tipos de fonte (GARCIA; COUTO, 1997).

O método da fumigação-extração apresenta como princípio básico a extração do C microbiano após a morte dos microrganismos e quebra (“lise”) celular pelo ataque do clorofórmio e liberação dos constituintes celulares, os quais são degradados por autólices enzimáticas e transformados em componentes extraíveis (JOERGENSEN, 1995).

## 2.8 PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO

Dentre os indicadores químicos do solo destacam-se o pH, matéria orgânica, capacidade de troca de cátions (CTC), teor de P, saturação de alumínio e por bases e teor de potássio (K), entre outros (SCHOENHOLTZ et al., 2000).

A avaliação da fertilidade do solo é necessária para definir as medidas necessárias para a correção e o manejo da fertilidade do solo (EMBRAPA, 1999).

A qualidade do solo pode ser definida como sua capacidade de sustentar a produtividade biológica e manter a qualidade ambiental.

### **3 OBJETIVO GERAL**

Este estudo teve por objetivo avaliar as variações nas características químicas e microbiológicas do solo nos sistemas integrados, em comparação com diferentes sistemas de cultivo.

#### **3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Analisar os parâmetros microbiológicos de todas as áreas, Agrosilvipastoril, Silvipastoril, Agropastoril, Agricultura convencional e Mata Nativa.

Avaliar os grupos funcionais de microrganismos em todos os sistemas.

Determinar correlações entre os atributos químicos e microbiológicos nas diferentes áreas monitoradas. Além de verificar a influência no crescimento da planta (parâmetro fitométrico).

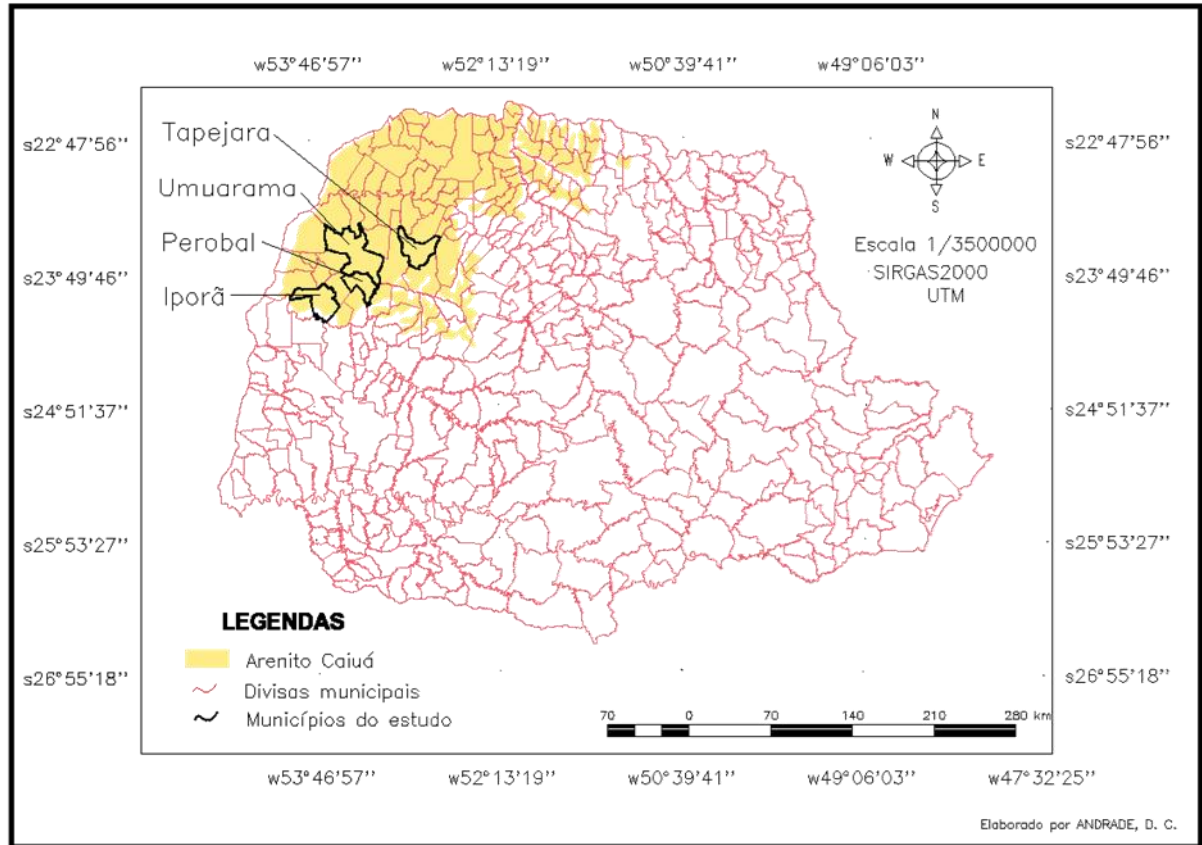
Analisar a influência do eucalipto (ASP e SP) na produção agrícola e na comunidade microbiana.

### **4 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **4.1 DELINEAMENTO DAS ÁREAS AMOSTRADAS**

O trabalho de monitoramento foi realizado na região noroeste do Estado do Paraná, conhecido como arenito Caiuá de solo classificado como LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico. A amostragem foi realizada em momento de pré-plantio da soja

(setembro/2014) e na fase fenológica V12 e R1-2 da soja. A descrição das áreas apresentada abaixo tabela 1 e suas localizações na figura 1:



**FIGURA 1.** Visualização espacial do Estado do Paraná, em destaque Arenito Caiuá, na região Noroeste do Estado, onde foram realizadas as coletas de solo (Iporã, Perobal, Umuarama e Tapejara).

TABELA 1 - Descrição das áreas amostradas.

10	LOCALIZAÇÃO	IMPLANTAÇÃO	ÁREA TOTAL	CULTURAS	ADUBAÇÃO	PERÍODO DO PLANTIO
<b>Agrosilvipastoril (ASP) e Silvipastoril (SP)</b>	Município de Iporã (23°59'57.6"S e 53°45'00.6"W)	2009	50 ha	- <i>Eucalyptus</i> – em fileira dupla, alternados nas fileiras com espaçamento de 1,5 m entre plantas e distância de 30 a 34 metros entre renques -Verão – soja -Inverno–pastagem temporária ( <i>Urochloa brizantha</i> cv. Piatã)	- Safra 2014/2015 - adubação de base de 600 kg alq <sup>-1</sup> (NPK) 6–24–12 e cobertura de 150 kg ha <sup>-1</sup> de KCl - semente Potência de ciclo semiprecoce.	Plantio realizado na primeira semana de outubro
<b>Agropastoril (AP)</b>	Município de Perobal (23°53'45"S e 53°24'36"W)	2010	120 ha	Sistema subdividido em três talhões. Verão-Integração realizada com plantio de soja (semente Potência de ciclo semiprecoce)  Inverno-pastagem temporária ( <i>U. brizantha</i> cv. Piatã) no inverno.	-Safra 2014/2015, -adubação de base de 680 kg alq <sup>-1</sup> (NPK) 6–30–6 e cobertura de 280 kg ha <sup>-1</sup> KCl.	Plantio realizado na primeira semana de outubro.
<b>Sistema Não Integrado ou Agricultura Convencional (AC)</b>	Município de Umuarama (23°49'10.8"S e 53°19'37.3"W)	+ de 12 anos	60 ha	- sistema de produção por sucessão -soja (semente NA 5909 de ciclo superprecoce) no verão - milho safrinha no inverno.	- Safra2014/12015 -plantio foi realizada a adubação de base de 580 kg alq <sup>-1</sup> (NPK) 8–37–6 e cobertura de 250 kg ha <sup>-1</sup> KCl.	Plantio realizado na segunda semana de outubro.
<b>Mata Nativa (MT)</b>	Município de Tapejara. (23°43'27.0"S e 52°53'22.6"W)	-	-	Como sistema em equilíbrio um fragmento de floresta nativa preservada, sem impacto das atividades antrópicas, referida neste estudo como a Mata Nativa (MT),	-	-

## 4.2 AMOSTRAGEM DO SOLO

As amostras de solo foram coletadas em delineamento inteiramente casualizado. Foram coletadas de 10 a 15 amostras simples da profundidade de 0 a 10 cm onde foram homogeneizadas para constituírem uma amostra composta, totalizando cinco repetições por área. O material foi acondicionado em sacos plásticos e transportado para o laboratório, onde foram peneiradas em malha de 2 mm e mantidas em geladeira até serem analisadas. Na primeira coleta, em setembro, totalizaram 35 amostras e na segunda coleta em dezembro foram 20 amostras.

As coletas de solos foram realizadas em setembro e dezembro de 2014, períodos correspondentes ao pré-plantio e final do estágio vegetativo V12/R1-2 da cultura de soja, respectivamente. Na primeira amostragem, foram analisadas as áreas ASP, nos renques (ASP-R) e entre-renques (ASP-ER), AP, AC e MT. Apenas as áreas com soja foram analisadas na segunda coleta, sendo ASP-R, ASP-ER, AP e A.

## 4.3 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO

Sendo a umidade do solo é definida como a massa da água contida em uma amostra de solo dividido pela massa de solo seco, sendo expressa em quilogramas de água por quilogramas de solo, ou, multiplicando-se por 100, tem-se em percentagem.

Para determinação do peso seco e da massa de água, o método tradicional é a secagem em estufa, na qual a amostra é mantida com temperatura entre 105 °C e 110 °C, até que apresente peso constante (EMBRAPA, 1999).

O peso da água é determinado pela diferença entre o peso da amostra e o peso seco.

Desta forma temos

## 4.4 DETERMINAÇÃO DE CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO

O parâmetro microbiológico do carbono da biomassa microbiana (CBM) foi determinado pelo método proposto por Vance et al. (1987), pela fumigação das amostras de solo com adição de clorofórmio.

As amostras de solo de cada uma das áreas foram separadas e pesadas (20 g) em duplicatas, sendo uma para fumigação e outra para não fumigação.

Para fazer a lise da membrana dos microrganismos e a liberação do conteúdo celular ao meio, as amostras foram fumigadas em dessecador contendo béquers com 50 mL de clorofórmio livre de etanol ( $\text{CHCl}_3$ ). O dessecador foi internamente recoberto com papel toalha umedecido e tampado, sendo, posteriormente submetido a vácuo por 4 minutos e incubado por 24 horas em ambiente escuro. (VANCE et. al., 1987).

Após o período de incubação, o dessecador foi aberto para possibilitar aeração e, em seguida, novamente submetido a vácuo por 4 minutos, sendo esse procedimento repetido de 5 a 6 vezes para a eliminação do clorofórmio presente no ambiente.

Para a extração do CBM-S foi adicionado 50 mL de solução de sulfato de potássio ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) 0,5 M nas amostras sob agitação a 175 rpm por período de 50 minutos e filtrado em papel quantitativo para obtenção do extrato.

A determinação do teor de CBM-S foi realizada por titulometria (WALKLEY; BLACK, 1934, modificado por TEDESCO et. al., 1995). Foram transferidos 8 mL dos extratos filtrados para erlenmeyers de 250 mL, adicionando 2 mL de solução de dicromato de potássio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) 0,066 M e 10 mL de ácido sulfúrico concentrado ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) P.A.

Após resfriamento foram acrescentados às amostras, 70 mL de água deionizada, 5 mL de ácido fosfórico concentrado ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) P.A. e 4 gotas de difenilamina ( $(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{NH}$ ) 1% (m/v) em  $\text{H}_2\text{SO}_4$  P.A., seguido de titulação com sulfato ferroso amoniacal [ $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ] 0,033 M.

Por este método, ocorre a oxidação do C orgânico a  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$  por íon de dicromato de potássio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) 0,066 M em meio forte ácido. Com a reação descrita, é considerado que o dicromato consumido é equivalente ao C presente na amostra e o excedente titulado com solução padronizada de sulfato ferroso amoniacal.

A determinação do carbono dos extratos fumigados e não fumigados foi calculado de acordo com a equação 1:

---

Em que:

C - carbono extraído do solo;

$V_b$  - volume de sulfato ferroso amoniacal consumido na titulação da solução controle (branco) (mL);

$V_a$  - volume de sulfato ferroso amoniacal consumido na titulação da amostra (mL);

M - molaridade exata do sulfato ferroso amoniacal;

- $V_1$  – volume do extrator ( $K_2SO_4$ ) utilizado (mL);  
 $V_2$  – alíquota pipetada do extrato para a titulação (mL);  
 0,003 - miliequivalente do carbono;  
 $P_s$  – massa de solo seco (g).

Por meio da subtração entre os teores de carbono do solo fumigado e não fumigado, pode-se obter o carbono da biomassa microbiana, sendo calculado conforme a equação 2:

—

Em que:

- CBMS – carbono da biomassa microbiana do solo ( $mg$  de  $C$   $kg^{-1}$  de solo);  
 FC – fluxo obtido da diferença entre a quantidade de  $C$  ( $mg$   $kg^{-1}$  solo) da Equação 1, recuperada no extrato da amostra fumigada e a recuperada na amostra não fumigada;  
 kc – fator de correção (0,33), preconizado por Sparling; West (1988).

#### 4.5 DETERMINAÇÃO DA RESPIRAÇÃO BASAL E QUOCIENTE METABÓLICO DO SOLO

A atividade respiratória da biomassa microbiana, ou respiração basal do solo (RBS) foi avaliada pela quantificação do  $CO_2$  liberado durante a incubação do solo em sistema fechado, onde o  $CO_2$  (dióxido de carbono) é capturado em solução de NaOH (Hidróxido de sódio) a  $0,05$   $mol$   $L^{-1}$  e posteriormente titulado com HCl (ácido clorídrico) (ISERMEYER, 1952).

Foram pesados 50 g de cada uma das amostras em frascos snap-caps, sendo que para cada amostra foram separados 10 mL de NaOH 1 M utilizado como solução receptora. Em seguida as amostras de solo e receptor, foram transferidas para potes de 2 L fechados hermeticamente, os quais foram armazenados pelo período de 7 dias em local escuro e em temperatura entre 25-28°C.

Após o período de incubação, foi retirada a solução NaOH e adicionados 2 mL de solução de  $BaCl_2$  10% (m/v) e 2 gotas de fenolftaleína 1% (m/v). A sobra de NaOH foi titulada com solução de ácido clorídrico (HCl) 0,5 M.

O cálculo para quantificação da respiração basal do solo foi executado conforme a equação 3:

---

---

Em que:

RBS – carbono proveniente da respiração basal do solo;

$V_b$  – volume de solução de HCl consumido na titulação da solução controle (branco) (mL);

$V_a$  – volume de solução de HCl consumido na titulação da amostra (mL);

M – molaridade exata da solução de HCl;

$P_s$  – massa de solo seco (g);

T – tempo de incubação da amostra (horas).

Após a determinação dos valores de CBMS e RBS determinou-se o quociente metabólico do solo, por meio da equação 4:

---

Em que:

$qCO_2$  – quociente metabólico do solo;

RBS – respiração basal do solo;

C-BMS – carbono da biomassa microbiana do solo.

#### 4.6 DETERMINAÇÃO DO CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT) E QUOCIENTE MICROBIANO DO SOLO ( $qMIC$ )

A determinação do COT foi feita em combustão da matéria orgânica via úmida, com uso de 0,5g de amostra, segundo Walkley; Black (1934), modificado por Tedesco et. al. (1995), sem aquecimento externo em chapa.

O quociente microbiano ( $qMIC$ ) foi determinado pela razão CBMS/COT. A partir da relação entre o CBM e o conteúdo de matéria orgânica foi determinado o quociente microbiano ( $qMIC$ ). A transformação dos valores de matéria orgânica para carbono orgânico foi feita pela relação M.O. = 1,724 x C.O. (SILVA, 2009).

#### 4.7 GRUPOS FUNCIONAIS DE MICRORGANISMOS

Os grupos funcionais de microrganismos que participam do ciclo biogeoquímico do carbono (população de celulolíticos [CEL], amilolíticos [AMI] e proteolíticos [PRO]); do ciclo do Nitrogênio (população de fixadores de nitrogênio de vida livre [NFB]); população de actinomicetos [ACT] e a população de *Pseudomonas fluorescens* [PSF] foram analisados a partir da pesagem de 1 grama de solo de cada amostra, realizando a diluição seriada ( $10^{-6}$ ) e 100  $\mu$ L das diluições foram inoculadas em placas de Petri com respectivos meios de cultura específico e seletivo (**Tabela 2**) e incubadas por 5 dias a 28° C. Após esse período a população microbiana foi contada e determinada como  $\log_{10}$  da Unidade Formadora de Colônia (Log UFC) por grama de solo seco.

**TABELA 2.** Meios de cultura utilizados para análise da comunidade microbiana.

MEIOS DE CULTURA	COMPOSIÇÃO DOS MEIOS DE CULTURAS (g.L <sup>-1</sup> )
MEIO CASEÍNA PARA PROTEOLÍTICOS (PONTECORVO et al., 1953 modificado)	Glicose 10,0 g; Caseína 5,0 g; KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ; 1,5 g; MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O 0,5 g; NaCl 2,0 g; FeSO <sub>4</sub> 0,01 g; ZnSO <sub>4</sub> 0,01 g; Ágar 15,0 g; 1000 mL H <sub>2</sub> O; pH para 6,8 – 7,0. Identificação das colônias: A contagem de colônias se faz pela formação de halos de degradação da caseína.
MEIO MÍNIMO PARA AMILOLÍTICOS (PONTECORVO ET AL., 1953, modificado 1980)	Amido solúvel 10,0 g; caseína 10,0 g; glicose 1,0 g; MgSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O 0,1 g; Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> 3,0 g; Ágar 20,0 g; 1000 mL de H <sub>2</sub> O destilada; pH 6,5-7,0; Revelação: cobrir placa de Petri com lugol por 15 minutos. A identificação se dá pela formação de halos de degradação do amido.
MEIO PARA CELULOLÍTICO (WOOD, 1980)	Carboximetil celulose 5,0 g; NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> 1,0 g; 50 mL de solução salina 0,85%; 15,0 g de ágar e 950 mL de H <sub>2</sub> O destilada, pH 7,0. Identificação das colônias: Adição de solução de vermelho congo 0,1% por 20 minutos sobre o meio, enxaguar com solução salina 0,1 M e identificar as colônias com formação de halos de degradação da celulose.
MEIO KING B (MISAGHI et al, 1982)	Peptona 20,0 g; glicerol 10,0 mL; K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> 1,5 g; MgSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O 1,5 g; Ágar 20,0 g; H <sub>2</sub> O destilada 1000 mL. A identificação se faz por observação em luz UV.
MEIO FIXADORES DE NITROGÊNIO DE VIDA LIVRE	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> 0,4 g; K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> 0,1 g; MgSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O 0,2 g; NaCl 0,1 g; CaCl <sub>2</sub> 0,02 g; FeCl <sub>3</sub> 0,01 g; MoO <sub>4</sub> Na.2H <sub>2</sub> O 0,002 g; maláto sódico 5,0 g; azul de bromotimol 0,5%, 5,0 mL, Ágar 15,0 g; H <sub>2</sub> O destilada 1000 mL; pH ajustado com lentilhas de KOH até ficar com o meio verde. pH 6,8.
MEIOCASEÍNA AGAR (ACTINOMYCETOS) (KUSTER; WILLIANS, 1996)	Amido solúvel 10 g; caseína 0,3 g; KNO <sub>3</sub> 2,0 g; NaCl 2,0 g; K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> 2,0 g; MgSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O 0,05 g; CaCO <sub>3</sub> 0,02 g; FeSO <sub>4</sub> 0,01 g; ágar 15,0 g; H <sub>2</sub> O destilada 1000 mL; ajuste de pH 6,5-7,0

#### 4.8 FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES

A colonização pelos fungos micorrízicos arbusculares (FMA) foi determinado nas raízes com diâmetro menor que 2 mm após a clarificação com KOH 10%, acidificação com HCl 0,1N e coloração das estruturas dos FMA nas raízes com solução de azul de tripano 0,05% (PHILLIPS; HAYMAN, 1970). A porcentagem de colonização micorrízica foi determinada pelo método de intersecção (McGONIGLE et al., 1990), observado a presença das estruturas dos FMA nas raízes (hifas asseptadas, arbúsculos e vesículas). Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

#### 4.9 ANÁLISES AGRONÔMICAS

##### 4.9.1 Avaliações na soja

A avaliação agronômica foi realizada a partir de 10 plantas coletadas aleatoriamente por parcela. A coleta das micorrizas somente foram realizadas na segunda coleta em que já havia sido realizado o plantio da soja, onde foram avaliados números de flores e vagens por planta da fase R1-2, foi avaliado o peso fresco e seco da parte aérea e nódulos por planta.

Após a pesagem do material fresco, estes foram submetidas a uma secagem a 65°C em estufa de circulação de ar, durante um período de 48 horas, para obtenção de massa seca.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

### 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 5.1 ANÁLISES COMPARATIVAS DOS ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS

O CBMS apresenta forte influência da matéria orgânica do solo, fato observado tanto na primeira como na segunda coleta, destacando as áreas com menores teores ASP-R e AC, e os maiores teores as áreas de MT, ASP-ER e AP (**Tabela 3**).

**Tabela 3.** Atributos microbiológicos em diferentes áreas de sistema de integração lavoura-pecuária e floresta.

Áreas*	M.O.		CBMS		RBS		$qCO_2$	
	g kg <sup>-1</sup>		mg C Kg solo <sup>-1</sup>		mg C-CO <sub>2</sub> Kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>		RBS/CBMS	
	1 Col.**	2 Col.**	1 Col.**	2 Col.**	1 Col.	2 Col.	1 Col.	2 Col.
ASP-R	15,2 c	20,66 b	105,2 c	148,3 b	0,75 b	0,62 a	7,21 a	4,28 b
ASP-ER	16,6 c	29,89 a	210,4 b	265,3 a	0,98 ab	1,09 a	4,68 b	4,68 b
AP	25,1 b	19,74 b	245,5 b	233,6 a	1,12 a	0,93 a	4,63 b	4,01 b
AC	14,8 c	11,38 c	199,6 b	144,5 b	0,92 ab	1,03 a	4,68 b	7,17 a
MT	32,7 a	-	339,4 a	-	1,03 ab	-	3,07 c	-
CV (%)	5,98	15,24	15,03	26,57	12,42	30,24	13,77	45,71

**Dados:** Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si no teste Tukey a 5% de probabilidade.

(<sup>o</sup>) [ASP-R] Sistema Agrosilvipastoril Renque; [ASP-ER] Sistema Agrosilvipastoril Entre Renque; [AP] Sistema Agropastoril; [AC] Agricultura Convencional; [MT] Mata Nativa. (\*\*\*) 1 Col (Coleta Setembro); 2 Col (Coleta Dezembro); [CBMS] Carbono da Biomassa Microbiana do Solo; [ $qMIC$ ] quociente Microbiano; [RBS] Respiração Basal; [ $qCO_2$ ] quociente metabólico do solo.

Basear-se especificamente em um único fator não é suficiente para representar a real qualidade do solo, uma vez que a interação entre eles ocorre de maneira complexa (SYERS et al., 1995). Um indicador que se encaixa nas três vertentes da ciência do solo é a matéria orgânica, pois seus benefícios e funções não são restritos apenas a um tipo de atributo (MIELNICZUK, 2008). A matéria orgânica como fonte de carbono e nutrientes, influencia diretamente a população, a atividade e a diversidade da microbiota do solo, com aumento nesse parâmetro em solos com maior teor de matéria orgânica. (BAYER; MIELNICZUK, 2008).

Alguns trabalhos tem demonstrado que em áreas de plantio direto (PD) e/ou com cultivo de leguminosas ou pastagem apresenta o aumento da biomassa microbiana, demonstrando a importância da utilização de matéria orgânica para a manutenção da atividade microbiana (MATSUOKA et al., 2003).

Os acréscimos da biomassa microbiana em áreas submetidas ao PD, prática adotadas em sistemas integrados, são devidos ao fato de tal prática proporcionar condições mais favoráveis ao desenvolvimento de microrganismos, como, por exemplo, temperatura, umidade, aeração e menor taxa de decomposição de componentes orgânicos, além do PD favorecer algumas propriedades químicas do solo, como pH e CTC, e os teores de Ca, Mg, K, P (SIDIRAS; PAVAN, 1985).

Os efeitos benéficos do plantio direto, nas características microbiológicas do solo, puderam ser observados nesse estudo, onde as áreas ASP-ER e AP apresentaram valores de CBMS significativamente superior aos da área AC (**Tabela 3**).

O comportamento diferencial da RBS foi significativamente menor na primeira coleta nas áreas ASP-R em função do menor CBM (**Tabela 3**), no entanto, temos que destacar os maiores valores do  $q\text{CO}_2$  na ASP-R e AC na primeira e segunda análise respectivamente e menor valor na MT por ser uma área apresento índices que indicam equilíbrio (**Tabela 3**). A área ASP-R apresentou maiores resultados em relação à umidade do solo, que pode ter sido ocasionado pela presença de eucaliptos na área AC sofreu estresse pelo manejo realizado na área de plantio, o que, provavelmente, pode explicar os valores de  $q\text{CO}_2$  nessas áreas.

O aumento na RBS entre a 1 C e a 2 C na área ASP-ER demonstra uma grande atividade microbiana em comparação aos demais (**Tabela 3**). Assim, deve-se salientar que a alta taxa de respiração pode ser interpretada como uma característica desejável, visto que a decomposição dos resíduos orgânicos irá disponibilizar nutrientes para as plantas (ROSCOE et al., 2006), como pode se observar na matéria seca e número de vagens que foi significativamente maior nesta área em comparação as demais áreas (**Tabela 4**).

Na segunda amostragem o CBMS também se mostrou maior no ASP-ER, seguido do AP, isto pode se explicar devido a altas quantidades de C liberado por este tipo de sistema. De acordo com Bowen; Rovira (1991) a disponibilidade de materiais com C, como ocorre nesses dois sistemas, liberado por este tipo de sistema e substratos como açúcares, aminoácidos e ácidos orgânicos liberados pelas raízes é importante suprimento de energia para a biomassa microbiana do solo.

A eficiência da utilização do carbono pela microbiota edáfica se baseia na incorporação de tal elemento a seus tecidos ou pelas perdas na forma de  $\text{CO}_2$  via respiração (MENDES et al., 2009), sendo expressa na forma de  $q\text{CO}_2$ , o qual indica condições estressantes quando atinge valores elevados (ANDERSON; DOMSCH, 1989).

Com isso pode-se observar que áreas bem manejadas de pastagens apresentam alto conteúdo de matéria orgânica e densa massa radicular, contribuindo para a biomassa microbiana na rizosfera (ALVARENGA et al., 1999). Essa massa aumenta o seu potencial qualitativo no processo de mineralização.

## 5.2 MATÉRIA ORGÂNICA E QUOCIENTE MICROBIANO

A relação entre CBM e Carbono Orgânico Total (COT) denominada de quociente microbiano ( $q\text{MIC}$ ) tem sido utilizado para expressar a qualidade da matéria orgânica do solo, sendo valores maiores e menores indicativo de acúmulo ou perda de C do solo. Alguns autores têm citado como valor de referência 2,2% como nível em equilíbrio (JENKINSON;

LADD, 1981), no entanto, outros autores indicam 1,8% a 2,1% como ponto de equilíbrio em áreas de monocultura extensivo (BROOKES et al., 1984). Tais valores podem variar de acordo com tipo, manejo e época de coleta (BALOTA et al., 1998).

Considerando a mata como ecossistema em equilíbrio foi utilizado o índice de 1,8% como referencial neste trabalho. Assim sendo, podemos verificar que a área ASP-R apresentou perda de C no solo e ASP-ER e AC acúmulo e demais áreas (MT e AP) tiveram valor próximo de 1,8%, considerado em equilíbrio (**Figura 2**). Na segunda coleta a mesma tendência foi verificado sendo que as áreas de ASP-R e AC tiveram perda e acúmulo de C do solo respectivamente (**Figura 3**).

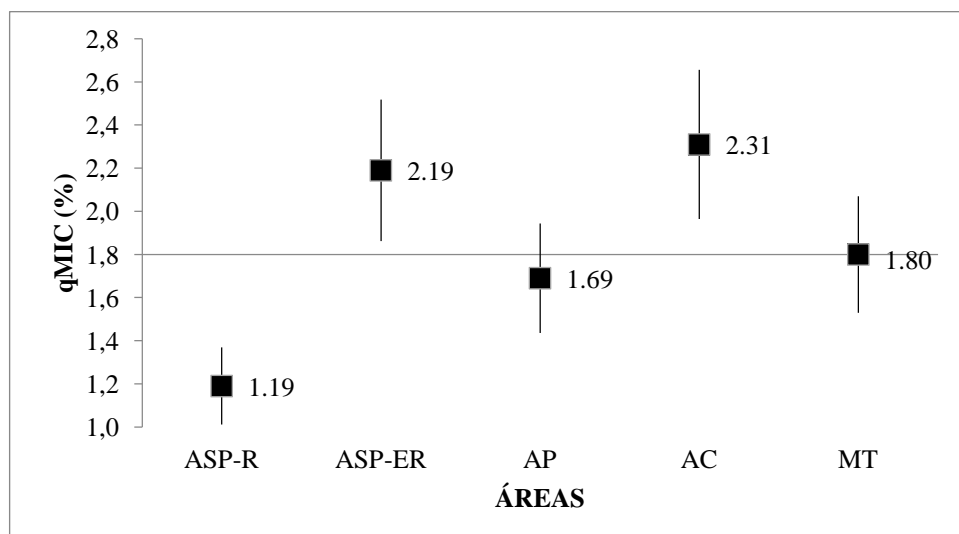
Nas áreas de longos anos de cultivo extensivo (grãos e pastagem) é frequente a perda de matéria orgânica no solo, e conseqüentemente perda na qualidade química, física e biológica do solo. No entanto, o manejo adequado do solo, principalmente com implantação de integração (culturas e rotações) tem a capacidade de manter ou aumentar o teor de matéria orgânica do solo (MARTIUS et al., 2001).

Na área ASP o acúmulo de matéria orgânica foi maior em função da cobertura vegetal (pastagem), o que contribuiu para a atividade biológica, principalmente na área ASP-ER, o que não ocorreu na AC. Tal fato está relacionado às vantagens do sistema agroflorestal apresentar árvores no sistema que pode melhorar as propriedades do solo através da fixação biológica de N<sub>2</sub>, extenso sistema radicular que libera exsudatos e nutrientes para a biomassa microbiana e um microclima mais adequado (ARAÚJO; MELO, 2012).

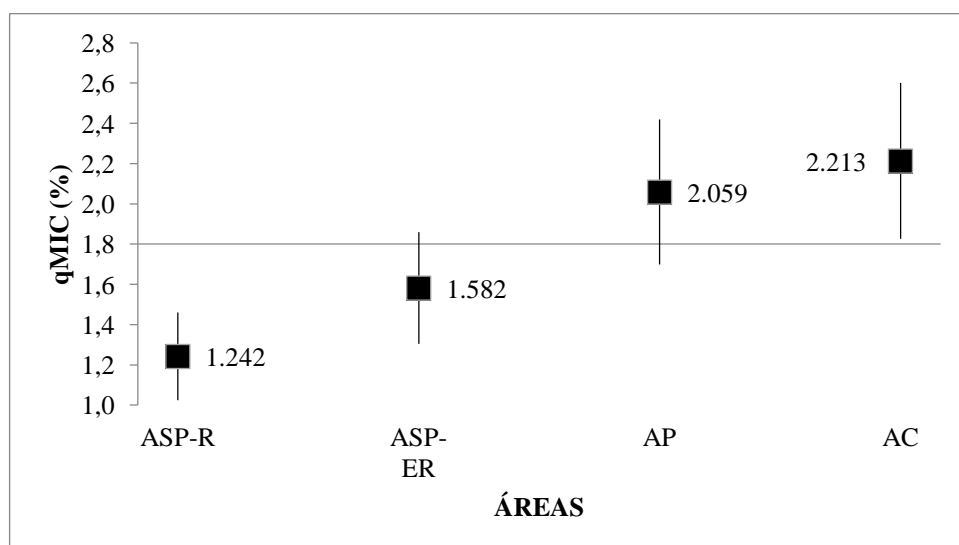
Em áreas de sistema florestais, a entrada de matérias orgânica se dá pela deposição e decomposição da serapilheira, dependendo da espécie vegetal, do clima, da idade das árvores e da densidade do plantio. A sustentabilidade das florestas incluem a manutenção ou incrementos nos níveis da matéria orgânica no solo, principalmente por serem a decomposição e a mineralização de resíduos os principais processos em que os nutrientes são disponibilizados para as plantas nesse ambiente (BARRETO, 2009).

A implantação de florestas de eucalipto pode levar a mudanças em várias características do solo. Entre estas, tem-se dado enfoque a matéria orgânica do solo (MOS) devido à sua estreita relação com a qualidade do solo. Os resíduos vegetais aportados são gradualmente decompostos pela biota do solo, retornando C e nutrientes ao solo, favorecendo, assim, o crescimento das plantas (PAVEI, 2005). Dessa forma, a MOS além de se constituir num componente importante do sequestro de C, é tida como principal indicador da sustentabilidade e produtividade dos agroecossistemas.

Acredita-se que a manutenção da MOS está assegurada dado ao grande aporte de resíduos deixado na área por ocasião da colheita. Assim qualidade do resíduo é fundamental, não apenas na determinação da sua dinâmica de decomposição, mas também, na sua conversão em diferentes componentes da MOS, em especial na fração mais estável (humificada). Porém, a manutenção de resíduos mais lábeis como folhas e galhos finos sobre o solo pode ser pouco efetiva na estabilização do C no solo, principalmente por este material poder exercer efeito “priming” positivo (FONTAINE et al., 2004) que, juntamente com os distúrbios gerados pela operação de colheita, pode contribuir para a diminuição no teor da MOS dos povoamentos de eucalipto.



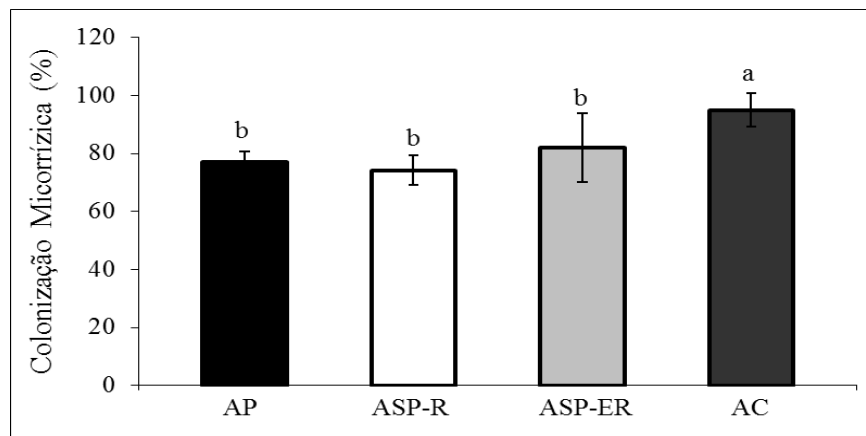
**Figura 2.** Quociente Microbiano ( $qMIC$ ) das áreas analisadas na primeira coleta. **Dados:**<sup>(\*)</sup>[ASP-R] Sistema Agrosilvipastoril Renque; [ASP-ER] Sistema Agrosilvipastoril Entre Renque; [AP] Sistema Agropastoril; [AC] Agricultura Convencional; [MT] Mata.



**Figura 3.** Quociente Microbiano ( $qMIC$ ) das áreas analisadas na segunda coleta. **Dados:**<sup>(\*)</sup> [ASP-R] Sistema Agrosilvipastoril Renque; [ASP-ER] Sistema Agrosilvipastoril Entre Renque; [AP] Sistema Agropastoril; [AC] Agricultura Convencional.

### 5.3 FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM SOJA

A porcentagem de colonização micorrízica foi maior na área de longos anos de cultivo convencional de grãos (AC) em relação às demais áreas de integração (**Figura 4**). No sistema integração lavoura-pecuária, as comunidades de FMA, de um modo geral, se mostram mais ricas, diversificadas e uniformes que áreas rotação de culturas (SILVA, 2014). Porém, em áreas agrícolas o preparo do solo, a adubação e o sistema de cultivo exercem forte influência sobre os FMA, selecionando espécies geralmente resistentes, e não necessariamente simbioticamente eficientes (KIERS et al., 2011).



**Figura 4.** Porcentagem de colonização micorrízica em áreas de integração e sem integração. **Dados:** [AP] Agropastoril; [ASP-R] Agrosilvipastoril nos renques; [ASP-ER] Agrosilvipastoril nos entre renques; [AC] Agricultura convencional. Médias seguidas de mesma letra não diferem no teste Tukey a 5%.

Nos sistemas integrados avaliados no presente estudo, a eficácia da simbiose pode estar relacionada a teores de P presente no solo na fase inicial da cultura (1 C) (**Tabela 2**). A colonização micorrízica é diretamente influenciada negativamente pela presença de altos teores de P (SMITH; READ, 2008), e conforme observado no presente estudo, a área AC apresentou o menor valor de fósforo na primeira amostragem e a maior taxa de micorrização, enquanto as demais áreas nesta mesma amostragem (1 C) apresentaram elevados teores de P no solo e menores taxa de colonização por FMA. Além disso, as diferenças nos valores de colonização micorrízica entre a AC e as demais áreas podem estar relacionadas com a

composição das comunidades, em termos de espécies ou de isolados de uma mesma espécie (SMITH; READ, 2008).

#### 5.4 ASPECTO AGRONÔMICO

Nas áreas de ASP-ER, AP e AC, a massa seca das plantas e o número de vagens foram superiores comparados com o sistema ASP-R. Este sistema ASP-R obteve menores resultados nos parâmetros umidade, número de vagens e matéria seca da soja (**Tabela 4**).

Avaliações realizadas por Almeida e colaboradores (2014), analisando umidade do solo em sistema ASP em diferentes horários, obtiveram uma redução na umidade nos renques de 50 a 60% comparada aos entre-renques (centro) da cultura. Tal resultado pode ser reflexo da existência de plantas eucalipto na área, pois a espécie possui rápido crescimento quando comparadas às espécies nativas, e isto faz com que a sua demanda por água seja maior, embora a eficiência no aproveitamento da mesma seja melhor. Assim como qualquer espécie vegetal, o eucalipto utiliza água para satisfazer suas demandas fisiológicas, promovendo assim o seu crescimento (OLERIANO; DIAS, 2007).

Isso pode explicar o menor resultado apresentado pela área ASP-R, apresentando menor umidade do solo que as demais, o que influenciou também na queda do desenvolvimento do número de vagens e matéria seca da soja. No entanto, outros fatores podem influenciar na produção das vagens na planta, como a incidência de luz (radiação), fator decisivo para a produção do soja (SOARES et al., 2009), que em condições favoráveis, sem sombreamento, a taxa fotossintética é aumentada e conseqüentemente o desenvolvimento de estruturas reprodutivas e a produtividade (CÂMARA, 2009).

**Tabela 4.** Parâmetros fitométricos, matéria orgânica e umidade do solo em diferentes áreas de sistema de integração lavoura-pecuária e floresta.

Áreas*	UMIDADE %	MASSA SECA g	Nº vagem pl <sup>-1</sup>
ASP-R	8,13 c	23,80 c	34,33 c
ASP-ER	13,87 a	42,71 a	56,83 a
AP	9,62 bc	32,65 bc	50,17 ab
AC	12,61 ab	36,30 ab	38,33 bc
CV (%)	13,96	10,44	12,95

**Dados:** Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem a 5% de probabilidade no teste Tukey.

(\*) [ASP-R] Sistema Agrosilvipastoril Renque; [ASP-ER] Sistema Agrosilvipastoril Entre Renque; [AP] Sistema Agropastoril; [AC] Agricultura Convencional.

Tal competição por água entre a planta arbórea e a cultivada, seja cultivo de grãos ou pastagem, se evidencia pela análise ANOVA ( $p < 0,003$ ) da comparação entre sistemas de ASP e SP nos renques e entre-renques dos atributos microbiológicos do solo. Nos parâmetros CBM e  $q_{MIC}$  observa-se aumento significativo, e redução no quociente metabólico ( $q_{CO_2}$ ), demonstrando atividade microbiana mais equilibrado com menor estresse. Os mesmos resultados são observados em comparação aos sistemas ASP e SP, a ação antrópica na área agrícola leva a menor biomassa microbiana e aumento no estresse metabólico (**Tabela 5**).

**Tabela 5.** Atributos microbiológicos nas áreas ASP e SP nos renque e entre-renques

Áreas*	CBMS		$q_{MIC}$		RBS		$q_{CO_2}$	
	mg C Kg solo <sup>-1</sup>		%		mg C-CO <sub>2</sub> Kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>		RBS/CBMS	
	R**	ER**	R	ER	R	ER	R	ER
ASP	105,2 Bb	210,4 Ba	1,19 Ab	2,20 Aa	0,75 Ba	0,98 Aa	7,21 Aa	4,68 Ab
SP	193,4 Ab	288,6 Aa	1,40 Ab	2,32 Aa	1,10 Aa	0,86 Aa	5,77 Ba	2,95 Bb
CV (%)	14,73		14,75		18,25		12,11	

**Dados:** Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem no teste Tukey a 5% de probabilidade.

(\*) [ASP] Sistema Agrosilvipastoril; [SP] Sistema Silvipastoril; (\*\*)[R] Renque; [ER] Entre-renques;

[CBMS] Carbono da Biomassa Microbiana do Solo; [ $q_{MIC}$ ] quociente Microbiano; [RBS] Respiração Basal; [ $q_{CO_2}$ ] quociente metabólico do solo.

## 5.5 GRUPOS FUNCIONAIS

Os grupos funcionais de microrganismos do solo avaliados nas diferentes áreas de integração, pleno sol e pasto degradado apresentaram diferença significativa apenas na população celulolítica na área de silvipastoril e nos fixadores de N de vida livre na área agropastoril em comparação a pasto degradado (Perobal) (**Tabela 6**).

Os grupos funcionais no solo concentram-se na rizosfera, atuando em promover ou inibir o crescimento da planta (ANDRADE et al., 1998). No entanto, a composição da matéria orgânica no solo e as espécies de plantas presentes influenciam na dinâmica da comunidade microbiana e na eficiência de reciclar nutrientes. Assim sendo, a área de pastagem degradada além da menor matéria orgânica disponível apresenta diferença de exsudação pelas plantas (gramínea e leguminosa), afetando a comunidade microbiana principalmente dos fixadores de nitrogênio livre. Nas outras áreas esta população e de proteolíticos não apresentaram diferença significativa, no entanto, há uma tendência destas populações serem sensível a fatores abióticos como temperatura, demonstrando menor população em áreas de pleno sol.

Segundo Almeida et al. (2014) a umidade do solo nos renques são 50 a 60% menor que nos entre renques, comprovando a competição por água entre as espécies consorciadas, havendo maior evapotranspiração no solo nos renques, fato este importante para comunidade

microbiana, como observado na população de celulolíticos na área silvipastoril. Na área agrosilvipastoril não foi observado tal alteração em função da soja estar em estágio vegetativo, liberando exsudato para manutenção da comunidade microbiana.

As populações de proteolíticos e actinomicetos não apresentaram diferença no tempo da coleta das amostras (**Tabela 6**), demonstrando serem comunidades estáveis ao longo do período da cultura. No entanto, nas demais podemos verificar aumento das populações na segunda coleta (amilolíticos, celulolíticos e *P. fluorescens*), este fato pode estar relacionada a necessidade da manutenção da comunidade microbiana no solo responsáveis pela decomposição da matéria orgânica e na supressão ou inibição de patógenos, como é o caso das *P. fluorescens*. Outro fato importante é a população de fixadores de nitrogênio livre que caiu na segunda coleta, a planta de soja é dependente de nitrogênio para o seu desenvolvimento, explicando o maior número na primeira coleta (**Tabela 6**).

**Tabela 6.** Grupos funcionais de microrganismos em áreas de integração (agrosilvipastoril e agropastoril) e agricultura convencional, avaliados em setembro (1C) e dezembro (2C) de 2014.

ÁREA*	AMI**		CEL		PRO		Nfb		Psf		ACT	
	1C	2C	1C	2C	1C	2C	1C	2C	1C	2C	1C	2C
	(*) LogUFC g <sup>-1</sup> de solo											
ASP-ER	8,10Aa	8,36Aa	8,26Ab	9,22Aa	7,99Aa	8,01Aa	7,38Aa	6,78Ab	7,90Ab	8,56Aa	7,46Aa	7,63Aa
ASP-R	8,20Ab	8,80Aa	8,20Ab	9,42Aa	7,88Aa	7,69Ba	7,37Aa	6,85Ab	7,94Aa	7,96Aa	7,33Aa	7,69Aa
AP	8,42Ab	8,88Aa	8,36Ab	9,33Aa	7,91Aa	7,77Ba	7,61Aa	6,73Ab	7,97Ab	8,53Aa	7,52Aa	7,72Aa
AC	8,48Aa	8,59Aa	8,69Ab	9,28Aa	7,87Aa	7,99Aa	7,61Aa	6,63Ab	7,94Aa	7,90Aa	7,62Aa	7,66Aa
CV (%)	2,99		2,21		1,29		2,92		3,11		3,56	

**Dados:** Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha dentro da população de microrganismo não diferem em teste Tukey a 5% (p<0,05). [ASP-ER] Agrosilvipastoril entre-renque; [ASP-R] Agrosilvipastoril renque; [AP] Agropastoril; [AC] Agricultura Convencional; \*\*[AMI] População de amilolíticos; [CEL] população de celulolíticos; [PRO] população de proteolíticos; [Nfb] População de fixadores de N de vida livre; [Psf] População de *Pseudomonas fluorescens* e [ACT] População de actinomicetos.

## 6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nas áreas sob sistema integrado apresentaram, em quase todos os parâmetros analisados melhor avaliação, tal como, maior comunidade microbiana, maior teor de matéria orgânica, menor estresse, melhor eficiência na disponibilização de nutriente e maior massa seca das plantas quando comparado ao sistema convencional.

No sistema agrosilvipastoril nos renques há competição por água entre a silvicultura e a cultura da soja, fato que prejudica o desenvolvimento das plantas e a comunidade

microbiana. Na área agrosilvipastoril entre-renques e agropastoril apresentaram melhores condições ambientais e edáficos para cultivo.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AAGOT N.; NYBROE O.; NILSEN P.; JOHNSEN K. An altered *Pseudomonas* diversity is recovered from soil by using nutrient-poor *Pseudomonas*-selective soil extract media. **Appl Environ Microbiol.**, 67: 5233-9, 2001.

AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J. Evolução das atividades lavoureira e pecuária nos cerrados. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 570 p. il. color, 2003.

ALEXANDER, M. **Introduction to soil microbiology**. 2.ed. New York: John Wiley e Sons, 1977.

ALMEIDA, F. L.; CALONEGO, J. C.; CATUCHI, T. A.; TIRITAN, C. S.; ARAÚJO, F. F.; SILVA, P. C. G. Produtividade de soja em diferentes posições entre renques de Eucalipto em cultivo consorciado, **Colloquium Agrariae**, v. 10, n.1, p.33-44, 2014.

ALVARENGA, M. I. N.; SIQUEIRA, J. O.; DAVIDE, A. C. Teor de carbono, biomassa microbiana, agregação e micorriza em solos de cerrado com diferentes usos. **Ciência Agrotécnica**, v.23, p.617-625, 1999.

ALVAREZ, R.; DIAZ, R. A.; BARBERO, N.; SANTANATOGLIA, O. J.; BLOTTA, L. Soil ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ VENEGAS, V. H.; NOVAIS, R. F. Addition of organic and humic acids to Latosols and phosphate adsorption effects. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.1003-1011, 2003.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Determination of ecophysiological maintenance requirements of soil microorganisms in dormant stage. **Biology and Fertility of Soils**, v.11, p. 81-89, 1989.

ANDRADE, R.; PEREIRA, R. F.; LIMA, A. S.; MAIA-FILHO, F. C. F.; CAVALCANTE, S. N.; SANTOS, J. G. R. Produção de feijão vigna sob adubação orgânica em ambiente semiárido. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 9, n. 2, 2013.

ANDRADE, G.; MIHARA, K. L.; LINDERMAN, R. G.; BETHLEFALVAY, G. J. Soil aggregation status and rhizobacteria in the mycorrhizosphere. **Plant and Soil**, v. 202, p. 89-96, 1998.

ARATO, H. D.; MARTINS, S. V.; FERRARI, S. H. S. Produção e decomposição de serapilheira em um Sistema Agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG. **Revista Árvore**, v.27, n.5, p.715-721, 2003.

ARAÚJO, A. S. F.; MELO, W. J. **Biomassa microbiana do solo**. Teresina: Serviço de Processamento Técnico da Universidade Federal do Piauí, 2012.

ARAÚJO; A. S. F.; MONTEIRO, R. T. S.; Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, p. 66-75, 2007.

AYARZA, M. A.; VILELA, L.; PIZARRO, E. A.; COSTA, P. H. da. Sistemas agropastoriles basados em leguminosas de usos multiples. In GUIMARÃES, E. P.; SANZ, J. I.; RAO, I. M.; AMÉZQUITA, M. C.; AMÉZQUITA, E. (Ed). **Sistemas agropastoriles en sabanas tropicales de América Latina**. Cali: CIAT; Brasília: Embrapa, p.175-193, 1999.

BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. O.; STONE, L. F. Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta. Brasília: Embrapa. Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil ix **Pesquisa agropecuária brasileira., Brasília**, v.46, n.10,p 130 p.i-xii, out. 2011.

BALBINOT JR., A. A.; MORAES, A.; VEIGA, M.; PELISSARI, A. DICKOW, J. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, v.39, n.6, p.1925-1933, 2009.

BALOTA, E. L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.641-649, 1998.

BARETTA, D.; BROWN, G. G.; CARDOSO, E. J. B. N. Potencial da Macrofauna e outras variáveis edáficas como indicadores da qualidade do solo em áreas com *Araucaria angustifolia*. **Acta Zoológica Mexicana**, Mexico, v. 2, p. 135-150, 2010.

BASTIDA, F.; ZSOLNAY, A.; HERNANDEZ, T.; GARCIA, C. Past, present and future of soil quality indices: a biological perspective. **Geoderma**, Amsterdam, v. 147, p. 159-171, 2008.

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

BERTHRONG, S. T.; BUCKLEY, D. H.; DRINKWATER, L. E. Agricultural management and labile carbon additions affect soil microbial community structure and interact with carbon and nitrogen cycling. **Microbial Ecology**, 66:158–170, 2013.

BERTOL, I.; ALMEIDA, J. A.; ALMEIDA, E. X.; KURTZ, C. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de ofertas de forragem de capim-elefante anão cv. Mott. **Pesquisa Agropecuária Brasileira.**, 35:1047-1054, 2000.

BLUM, W. E. H.; SANTELISES, A. A. A concept of sustainability and resilience based in soil functions. In: GREENLAND, D. J.; SZABOLCS, I. (Org.) **Soil resilience and sustainable land use**. Wallingford: CAB, p. 535-542, 1994.

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

BOWEN, G. D.; ROVIRA, A. D. **The rhizosphere, the hidden half of hidden half**. In: Plant Roots. The Hidden Half. Eds. WAISE, A.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. pp. 641-669. Marcel Dekker, New York, 1991.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio proctor. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 30, p.605-614, 2006.

BRASIL. MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Estatísticas e Dados Básicos de Economia Agrícola, Janeiro. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: < <http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 19 Jan. 2016.

BRASIL. **Agropecuária brasileira crescerá 2,4% em 2016**. 2015. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2015/12/agropecuaria-brasileira-crescera-2-4-em-2016>>. Acesso em: 12 dez. 2015.

BRAZ, A. J. B. P.; KLIEMANN, H. J.; SILVEIRA, P. M. Produtividade da palhada de plantas de cobertura. In: SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. **Plantas de cobertura dos solos do cerrado**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, Cap. 1. p. 13-43, 2010.

BROOKES, P. C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G.; JENKINSON, D. S. Chloroform fumigation and 337 the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biol. Biochem.**, 17:837-842, 1984.

CABALLERO, S. U. **O nitrogênio e as plantas**. 2016. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_31\\_711200516717.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_31_711200516717.html)>. Acesso em: 19 mar. 2016.

CÂMARA, G. M. S. **Fisiologia da produção de soja**. In: CAMARA, G. M. S (Coord.). Soja & Cia. Piracicaba: ESALQ/USP, p.150-179, 2009.

CARDOSO, E. J. B. N.; CARDOSO, I. M.; NOGUEIRA, M. A.; MALUCHE-BARETTA, C. R. D.; ALESSANDRA, M. P. Micorrizas arbusculares na aquisição de nutrientes pelas plantas. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil**. Lavras: Editora ULFA, p. 153-214, 2010.

CARDOSO, I. M.; KUYPER, T. W. Mycorrhizas and soil tropical fertility. **Agriculture, Ecosystems and Environmental**, Amsterdam, v.116, p. 72-84, 2006.

CASSOL, L. C. **Relações solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície**. 2003. 143p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

COÊLHO, D. G.; SANTOS, T. M. C. dos; ALBUQUERQUE, L. S. Quantificação de fungos celulolíticos em solos de três ecossistemas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoro, v. 3, n. 1, p.45-49, set. 2008.

COSTA, G. D.; MATSUMOTO, L. S.; ALMEIDA, L. M. F.; PORTO, E. P.; DEMÉTRIO, G. B.; MARQUES, R. D.; SILVA, M. A. A.; SILVA, M. A. Fertilization with poultry litter in a corn crop for silage. **African Journal of Agricultural Research** Vol. 10 No. 44. 2015

DENARDIN, J. E. **ÁRVORE DO CONHECIMENTO Sistema Plantio Direto: Sistema Plantio Direto (SPD): o Conceito.** 2016. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/sistema\\_plantio\\_direto/arvore/CONT000fh2b6ju802wyiv80rn0etn6qel0im.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/sistema_plantio_direto/arvore/CONT000fh2b6ju802wyiv80rn0etn6qel0im.html)>. Acesso em: 06 abr. 2016.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. Carbono, nitrogênio e fósforo na biomassa microbiana do solo. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O., **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** 2. ed. Porto Alegre: Metropole, p. 263-276, 2008.

EMBRAPA SOJA. **Recomendações técnicas para a cultura da soja no Paraná 1999/2000.** Londrina, p.103, 109. (Embrapa Soja. Documentos, 131). 1999.

FANCELLI, A. L.; FAVARIN, J. L. **Realidade e perspectivas para o sistema de plantio direto no Estado de São Paulo.** In: FANCELLI, A. L. (Coord.). **Plantio direto no estado de São Paulo.** Assis: FEALQ: ESALQ, p.15-34, 1989.

FEBRARPDP. **BRASIL - Evolução da área cultivada em plantio direto 2002/03 à 2005/06.** 2015. Disponível em: <<http://febrapdp.org.br/download/BREvolucaoPD2002a2006.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2015.

FONTAINE, S.; BARDOUX, G.; BENEST, D.; VERDIER, B.; MARIOTTI, A.; ABBADIE, L. Mechanisms of the priming effect in a savannah soil amended with cellulose. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 68:125-131, 2004.

GARCIA, R.; COUTO, L. Silvopastoral systems: emergent technology of sustainability. In: GOMIDE, J.A. (Ed.) **Simpósio internacional de produção animal em pastejo, Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, p.281-302, 1997.

GARCIA, R.; TONUCCI, R. G.; GOBBI, K. F. Sistemas Silvopastoris: uma integração pasto, árvore e animal. In: OLIVEIRA NETO, S. N. et al. (Org.) **Sistema Agrossilvipastoril Integração lavoura, pecuária e floresta.** Viçosa, MG: Sociedade de Investigações Florestais, p.123-166, 2010.

GOTTSCHAL, J. C. Phenotypic response to environmental changes. **FEMS Microbiology Ecology**, v.74, p.93-102, 1990.

GOUVELLO, C. **Estudo de baixo carbono para o Brasil.** Brasília: Banco Mundial, 278p, 2010.

HAAS, D.; DÉFAGO, G. Biological control of soil-borne pathogens by fluorescent pseudomonads. **Nature Reviews Microbiology**, v. 3(4):307-319, 2005.

HERNANI, L. C.; FREITAS, P. L.; PRUSKI, F. F.; DE MARIA, I. C.; CASTRO FILHO, C.; LANDERS, J. N. A erosão e o seu impacto. In: MANZATTO, C.V.; FREITAS JUNIOR, E. de; PERES, J. R. R. (Ed.). **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p.47-60, 2002.

HERRERO, M.; THORNTON, P. K.; NOTENBAERT, A. M.; WOOD, S.; MSANGI, S.; FREEMAN, H. A.; BOSSIO, D.; DIXON, J.; PETERS, M.; STEEG, J. van de; LYNAM, J.; PARTHASARATHY RAO, P.; MACMILLAN, S.; GERARD, B.; MCDERMOTT, J.; SERÉ, C.; ROSEGRANT, M. Smart investments in sustainable food production: revisiting mixed crop-livestock systems. **Science**, v.327, p.822-825, 2010.

HUERTA, E.; WAL, H. Soil macro invertebrate abundance and diversity in home gardens in Tabasco, Mexico, vary with soil texture, organic matter and vegetation cover. **European Journal of Soil Biology**. v. 50, p. 68-75, 2012.

ISERMEYER, H. Eine einfache Methode zur Bestimmung der Bodenatmung und der Kohlenstoff im Boden. **Z. Pflanzenernähr Bodenk.**, 56:26-38, 1952.

JANSA, J.; RUDOLF-HANS, O.; EGLI, S. Environmental determinants of the arbuscular mycorrhizal fungal infectivity of Swiss agricultural soils. **European Journal of Soil Ecology**, London, v. 45, p. 400-408, 2009.

JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E.A.; LADD J.N (eds). **Soil biochemistry**. Marcel Dekker, p.425-471, 1981.

JOERGENSEN, R. The fumigation extraction method. In: ALEF, K.; NANNIPIERI, P. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, p.382-387, 1995.

KASANA, R. C.; SALWAN, R.; YADAV, S. K. Microbial proteases: Detection, production, and genetic improvement. **Critical Reviews in Microbiology** 37:262-276, 2011.

KIERS, E.T.; MARIE DUHAMEL, M.; BEESETTY, Y.; MENSAH, J.A. Reciprocal rewards stabilize cooperation in the mycorrhizal symbiosis. **Science**, 333:880-882, 2011.

KIRK, J. L.; BEAUDETTE, L. A.; HART, M.; MOUTOGLIS, P.; KLIRONOMOS, J. N.; LEE, H.; TREVORS, J. T. Methods of studying soil microbial diversity. **Journal of Microbiology Methods**, v. 58, p.169-188, 2004.

KLEINPAUL, I. S.; SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M. V. NAVROSKI, M. C. Plantio misto de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii* em Sistema Agroflorestal: I - produção de biomassa. **Ciência Florestal**, v.20, n.4, p.621-627, 2010.

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

KOLB, W.; MARTIN, P. Influence of nitrogen on the number of N<sub>2</sub> fixing bacteria in the rhizosphere. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, 20: p.221-225, 1988

KUSTER, E.; WILLIAMS, S. T. Selection of media for isolation of *Streptomyces*. **Nature**, v.202, p.928-929, 1964.

LAZZAROTTO, J. J.; SANTOS, M. L.; LIMA, J. E.; MORAIS, A. Viabilidade financeira e riscos associados à integração lavoura-pecuária no Estado do Paraná. **Organizações Rurais e Agronegócio**, v. 12. p. 113-130, 2010.

LOPES, A. A. C.; SOUSA, D. M. G.; CHAER, G. M.; JUNIOR, F. B. R.; GOEDERT, W. J.; MENDES, I. C. Interpretation of microbial soil indicators as a function of crop yield and organic carbon. **Soil Science Society of America Journal**, v. 77, n. 2, p. 461-472, 2012.

MACEDO, M. C. M. **Degradação de pastagens: conceitos, alternativas e métodos de recuperação**. Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS, Impresso 12p, 2001.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.133-146, 2009.

MARQUES, T. C. L. L. S. M.; VASCONCELLOS, C. A.; PEREIRA FILHO, I.; FRANÇA, G. E.; CRUZ, J. C. Envolvimento de dióxido de carbono e mineralização de nitrogênio em Latossolo Vermelho-Escuro com diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.3, p.581-589, 2000.

MARTIUS, C.; TIESSEN, H.; VLEK, P. L.G. The management of organic matter in tropical soils: what are the priorities. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. Dordrecht, v.61, n. 1, p. 1-6, 2001.

MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. R. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 27, p. 425-433, 2003.

MCGONIGLE, T. P.; EVANS D. G.; MILLER M. H. Effect of degree of soil disturbance on mycorrhizal colonization and phosphorus absorption by maize in growth chamber and field experiments. **New Phytologist**, 116:629-636, 1990.

MENDES, I. C.; DA CUNHA, M. H.; DOS REIS JUNIOR, F. B.; FERNANDES, M.; CHAER, G.; MERCANTE, F.; ZILLI, J. Bioindicadores para avaliação da qualidade dos solos tropicais: utopia ou realidade? **Documentos 246**, Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2009, 31p.: il.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.) **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: Ecossistemas Tropicais e Subtropicais**, 2.ed revisada e atualizada. Porto Alegre: Metropole, 654p.: il., 2008.

MIRANDA, J. C. C.; VILELA, L.; MIRANDA, L. N. Dinâmica e contribuição da micorriza arbuscular em sistemas de produção com rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.1005-1014, 2005.

- MISAGHI I. J.; STOWELL L. J.; GROGAN R. G.; SPEARMAN L. C. Fungi static activity of water-soluble fluorescent pigments of fluorescent pseudomands. **Phytopathology**, 72, 33-36, 1982.
- MORAES, A.; PELISSARI, A.; ALVES, S. J.; CARVALHO, P. C. F.; CASSOL, L. C. **Integração lavoura-pecuária no sul do Brasil. In: Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil**, 1., Pato Branco, p.3-42, 2002.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 626 p.: il, 2002.
- MOREIRA, F. M. S., SIQUEIRA, J. O., BRUSSAARD, L. **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**. Lavras: Ed. UFLA, pp. 768, 2008.
- NELSON, D. L.; COX, M. M.; LEHNINGER, A. G. **Princípios de Bioquímica**. 3ª ed. São Paulo, Sarvier, 839 p. 2003.
- ODUM, E. P. Trends expected in stressed ecosystems. **Bioscience**, Londres, v. 35, p. 419-422, 1985.
- OLERIANO, E. S.; DIAS, H. C. T. “A dinâmica da água em microbacias hidrográficas reflorestadas com eucalipto”. In: Anais I Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul. **O Eucalipto e o Ciclo Hidrológico**, Taubaté, Brasil, 07-09, IPABHi, p. 215-222, novembro 2007.
- PANDEY, A.; NIGAN, P.; SOCCOL, C. R.; SOCCOL, V. T.; SINGH, D.; MOHAN, R. Advances in microbial amylases. **Biotechnol. Appl. Biochem.**, v.31, n. 2, p.135-152. 2000.
- PANDEY, A.; WEBB, C.; SOCCOL, C. R.; LARROCHE, C. **Enzyme Technology**. 1ª ed. New Delhi: Asiatech Publishers, Inc, 760 p. 2005.
- PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Soil microbiology and biochemistry**. San Diego: Academic Press, 273p, 1989.
- PAVEI, M. A. **Decomposição de resíduos culturais e emissão de gases de efeito estufa em sistema de manejo de solo em Ponta Grossa (PR)**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ecologia de Agrossistemas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Quieroz", Piracicaba, 114 pp. 2005.
- PHILLIPS J. M, HAYMAN D. S. Improved procedures for clearing roots for rapid assessment of infection. **Transactions of British Mycological Society**, 55:158-161, 1970.
- PONTECORVO, G.; ROPER, J. A.; HEMONS, L. M.; McDONALDS, K. D.; BUFFON, A. W. J. The genetic of *Aspergillus nidulans*. **Adv. Gen.**, v. 5, p. 141-238, 1953.
- POSTES, M. D. A. L.; DICK, D. P.; DALMOLIN, R. S. D.; KNICKER, H.; ROSA, A. S. da. Matéria orgânica em Neossolo de altitude: influência do manejo da pastagem na sua composição e teor. **Revista Brasileira.de Ciência do Solo**, v.34, n.1, p.23-32, 2010.

POWER, I. L.; THORROLD, B. S.; BALKS, M. R. Soil properties and nitrogen availability in silvopastoral plantings of *Acacia melanoxylon* in North Island, New Zealand. **Agroforestry Systems**, v.57, n.3, p.225-237, 2003.

PURIN, S.; RILLIG, M. C. The arbuscular mycorrhizal fungal protein glomalin: Limitations, progress and a new hypothesis for its function. **Pedobiologia**, Berlin, v. 51, p. 123-130, 2007.

RILLIG, M.C. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 28, p. 355-363, 2004.

RILLIG, M. C.; MARDATIN, N. F.; LEIFHEIT, E. F.; ANTUNES, P. M. Mycelium of arbuscular mycorrhizal fungi increases soil water repellency and is insufficient to maintain water-stable soil aggregates. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 42, p. 1189-1191, 2010.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. Biomassa microbiana do solo. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J.C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, p.163-198, 2006.

RUEGGER, M. J. S.; TAUKE-TORNISIELO, S. M. Atividade da celulase de fungos isolados do solo da Estação Ecológica de Juréia-Itatins, São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica, São Paulo**, v. 27, n. 2, p. 205- 211. 2004.

SANTOS, M. V.; MOTA, V. A.; TUFFI SANTOS, L. D.; OLIVEIRA, N. J. F.; GERASEEV, L. C.; DUARTE, E. R. Sistemas Agroflorestais: potencialidades para produção de forrageiras no norte de Minas Gerais. In: GERASEEV, L. C.; OLIVEIRA, N. J. F.; CARNEIRO, A. C. B.; DUARTE, E. R. (Ed.). **Recomendações técnicas para vencer o desafio nutricional no período da seca**. UFMG: ICA, Montes Claros, p.99-109, 2008.

SCHOENHOLTZ, S. H.; VAN MIEGROET, H.; BURGER, J. A. A review of chemical and physical properties as indicators of forest quality: challenges and opportunities. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 138, p. 335-356, 2000.

SIDIRAS, N.; PAVAN, M. A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, 9:249-254, 1985.

SILVA, A. P., BABUJIA, L. C., MATSUMOTO, L. S., GUIMARÃES, M. F., HUNGRIA, M. Bacterial Diversity Under Different Tillage and Crop Rotation Systems in an Oxisol of Southern Brazil. **The Open Agriculture Journal**, v. 7, p. 40-47, 2013.

SILVA, F. C.; ABREU, M. F.; PÉREZ, D. V.; EIRA, P. A.; ABREU, C. A.; van RAIJ, B.; GIANELLO, C.; COELHO, A. M.; TEDESCO, M. J.; SILVA, C. A.; CANTARELLA, H.; BARRETO, W. O. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes: Métodos de análises químicas para avaliação da fertilidade do solo**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 627 p., 2009.

SILVA, R. **Simbiose Micorrízica Arbuscular e Atividade Microbiana do Solo Cultivado com Soja nos Sistemas Lavoura-Pecuária e Rotação de Culturas**. Dissertação de mestrado– Universidade Estadual de Maringá, 93 p., 2014.

SIQUEIRA, J. O. Microrganismos do solo e seus processos: irrelevantes para a produtividade agrícola. In: MONIZ, A. C.; FURLANI, A. M. C.; FURLANI, P. R.; FREITAS, S. S. A responsabilidade social da Ciência do Solo. Campinas: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p.337-352, 1988.

SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. **Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas**. Brasília: MEC, 235p. 1988.

SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. 3rd ed. New York; London: Academic Press, 800 p., 2008.

SOARES, A. B.; SARTO, L. R.; ADAMI, P. F.; VARELLA, A. C.; FONSECA, L.; MEZZALIRA, J. C. Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies forrageiras perenes de verão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 3, p. 443-451, 2009.

SPARLING, G. P.; WEST, A. W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: calibration *in situ* using microbial respiration and <sup>14</sup>C labelled cells. **Soil biology and biochemistry**, v. 20, n. 3, p. 337-343, 1988.

SPERA, S. T. Atributos físicos e químicos de um latossolo e produtividade de culturas, em função de manejo de solo e de rotação de culturas. 228p. **Tese Doutorado**. 2009.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS-Departamento de Solos, 174p. (Boletim Técnico, 5). 1995.

VALENZUELA, E.; LEIVA, S.; GODOY, R. Variación estacional y potencial enzimático de microhongos asociados con la descomposición de hojarasca de *Nothofagus pumilio*. **Revista Chilena de Historia Natural**, Santiago, v. 74, n. 4. 2001.

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

VASCONCELLOS, R. L.; SEGAT, J. C.; BONFIM, J. A.; BARETTA, D.; CARDOSO, E. J. B. N. Soil macrofauna as an indicator of soil quality in an undisturbed riparian forest and recovering sites of different ages. **European Journal of Soil Biology**, v. 58, p. 105-112, 2013.

VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. G.; SOUSA, A. G. **Texto para discussão: agricultura e crescimento: cenários e projeções**. 2011. Disponível em: <[http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1450/1/td\\_1642.pdf](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1450/1/td_1642.pdf)>. Acesso em: 20 nov. 2105.

VILELA, H. **Série gramíneas tropicais - gênero *Brachiaria* (*Brachiaria ruziziensis* – Capim)**. Disponível em: <[http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos\\_gramineas\\_tropicais\\_brachiaria\\_ruziensiensis.htm](http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos_gramineas_tropicais_brachiaria_ruziensiensis.htm)>. Acesso em: 13 mar. 2016.

VILELA, L; MARTHA-JUNIOR, G.B; MACEDO, M.C.M.; MARCHÃO, R.L.; GUIMARÃES-JUNIOR, R.; PULROLNIK, K.; MACIEL, G.A. Sistemas de integração

lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.46, n.10, p.1127-1138, 2011.

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

WOOD, P. J. Specify in the interactions of direct dyes with polysaccharides. **Carbohydrate Res.**, v. 85, p. 271-287, 1980.

ZIMMER, A. H.; ALMEIDA, R. G.; MACEDO, M.C.M.; KICHEL, A. N.; ZIMMER, C. A.; ZIMMER, K. A. Produção de grãos e de forragem de leguminosas forrageiras tropicais consorciadas com milho BRS-2020 em Campo Grande - MS. In: Reunião anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 48, 2011, Belém. Anais... Belém: UFRA; SBZ, 2011.

## 8 ANEXO 1

**Tabela 7.** Análise química do solo em áreas com sistema de integração (ASP [R e ER] e AP) e sem integração (AC e MT) realizada em setembro (1ª. Coleta) e dezembro (2ª. Coleta)

Áreas*	pH		P		K		Ca		Mg		H+Al		CTC	
	em CaCl <sub>2</sub>		mg dm <sup>-3</sup>		cmol.dm <sup>-3</sup>		cmol.dm <sup>-3</sup>		cmol.dm <sup>-3</sup>		cmol.dm <sup>-3</sup>		cmol.dm <sup>-3</sup>	
	1 C	2 C	1 C	2 C	1 C	2 C	1 C	2 C	1 C	2 C	1 C	2 C	1 C	2 C
ASP-R	5,40 a	5,0 b	34,0 b	20,3 bc	0,27 ab	0,19 ab	1,98 a	1,60 b	1,79 abc	1,20 a	2,67 b	2,60 b	6,70 b	5,50 b
ASP-ER	5,26 a	5,2 b	35,9 b	31,5 b	0,32 a	0,27 a	2,27 a	1,90ab	1,95 ab	1,30 a	3,42 ab	3,30 a	7,96 a	6,80 a
AP	5,37 a	5,4 b	49,4 a	9,7 c	0,25 ab	0,13 b	1,79 a	1,80ab	1,34 c	0,80 a	2,67 b	2,50 b	6,06 b	5,20 b
AC	5,40 a	6,3 a	6,7 c	53,4 a	0,13 b	0,14 ab	2,04 a	2,40 a	1,56 bc	1,00 a	3,02 ab	2,10 b	6,75 b	5,70ab
MT	5,57 a	–	11,2 c	–	0,26 ab	–	2,32 a	–	2,21 a	–	3,04 ab	–	7,83 a	–
CV (%)	4,22	5,70	12,07	15,62	23,56	27,04	11,90	14,24	10,36	19,33	12,76	8,72	9,21	8,23

**Dados:** Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem no teste Tukey a 5% de probabilidade.

<sup>(\*)</sup>[ASP-R] Sistema Agrosilvipastoril Renque; [ASP-ER] Sistema Agrosilvipastoril Entre Renque; [AP] Sistema Agropastoril; [AC] Agricultura Convencional; [MT] Mata; [P] Fósforo; [K] Potássio; [Ca] Cálcio; [Mg] Magnésio; [H+Al] Hidrogênio + Alumínio; [CTC] Capacidade de Troca Catiônica.

## 9 ARTIGO A - ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO SOB SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO

### RESUMO

A agricultura e a pecuária vêm sofrendo grande desgaste devido ao manejo inadequado. Assim, novas técnicas de manejo com melhor uso da terra, como os sistemas integrados de produção, são opções mais sustentáveis. Este trabalho teve por objetivo avaliar os atributos microbiológicos sob sistemas de produção integrados. Foram estudadas áreas de integração lavoura-pecuária-floresta (agrosilvipastoril), integração lavoura-pecuária (agropastoril), agricultura convencional e mata nativa como padrão de equilíbrio. Foram determinados o carbono da biomassa microbiana, a respiração basal e os quocientes metabólicos, microbianos, grupos funcionais e porcentagem de micorrização. Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Em quase todos os parâmetros analisados, a maior comunidade microbiana, maior teor de matéria orgânica, menor estresse metabólico, melhor eficiência na disponibilização de nutrientes foram observados nos sistemas integrados, em comparação ao sistema convencional. As áreas agrosilvipastoril entre-renques e agropastoril apresentaram melhores condições ambientais e edáficas para o cultivo.

Palavras-chaves: integração lavoura-pecuária-floresta, comunidade microbiana, soja, micorriza.

### ABSTRACT

Agriculture and livestock are suffering losses due to improper handling. Thus, new management techniques with better land use, such as integrated production systems, are more sustainable options. This study aimed to evaluate the microbiological attributes in integrated production systems. Integration areas studied were crop-livestock-forest (agrosilvopastoral), crop-livestock integration (agropastoral), conventional agriculture and native forest as standard for equilibrium. It was determined the microbial biomass carbon, basal respiration, metabolic quotient, microbial quotient and percentage of mycorrhizal infection. The results were submitted to analysis of variance and means were compared by Tukey test ( $p < 0.05$ ). In almost all parameters, the largest microbial community, higher organic matter content, lower metabolic stress, better efficiency in the provision of nutrients were observed in integrated systems, compared to the conventional system. The agrosilvopastoral area between rows and agropastoral area showed better environmental and soil conditions for cultivation.

Key words: crop-livestock-forest integration, microbial community, soybean, mycorrhiza

### INTRODUÇÃO

O cenário agropecuário brasileiro, tem sofrido forte transformação, baseado no crescimento da produtividade e eficiência alocativa dos recursos. Assim, gerando a modernização de diversos setores, os quais incorporaram as mudanças tecnológicas ao longo do tempo (VIEIRA FILHO *et al.*, 2011).

As práticas convencionais agrícolas e pecuárias apresentam sinais de “desgaste” econômica, sociais e/ou ambientais. Na agricultura, os padrões de monocultivo intensificado e o uso indiscriminado de defensivos, fertilizantes e maquinários agrícolas acarretaram graves consequências para a sociedade e para o meio ambiente, originando discussões acerca do desenvolvimento de padrões sustentáveis para a produção agrícola (BALBINO *et al.*, 2011).

Na pecuária, esse cenário se repete, devido à degradação das pastagens e do solo, com elevada taxa de erosão, relacionados ao manejo animal inadequado, à baixa reposição de nutrientes no solo e ao baixo investimento tecnológico (AIDAR; KLUTHCOUSKI, 2003). Tais restrições trazem consequências negativas para a sustentabilidade da pecuária, como: baixa oferta de forragens, baixos índices zootécnicos e baixa produtividade de carne e leite, além de reduzido retorno econômico e ineficiência do sistema pecuário (BALBINO *et al.*, 2011).

O uso irracional e intensificado da terra provoca redução da qualidade do solo, a qual é definida como a capacidade deste de funcionar dentro do ecossistema, permitindo sustentabilidade biológica, e contribuindo para a manutenção e crescimento de plantas, animais e do homem (BARETTA *et al.*, 2010).

O equilíbrio dos ecossistemas depende das inter-relações entre seus componentes bióticos e abióticos. Dessa forma, o solo é um recurso natural indispensável ao funcionamento dos ecossistemas terrestres, por ter funções como armazenamento de água, ciclagem de matéria, habitat para espécies, substrato para produção agrícola e meio físico para moradia e atividades humanas (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

Os organismos encontrados na camada superficial do solo possuem um papel determinante em processos de transformações, como a ciclagem de nutrientes, decomposição da matéria orgânica e melhoria dos atributos biológicos, químico e físicos (HUERTA; WAL, 2012). Portanto, atributos microbiológicos são usados para explicar a dinâmica das funções do solo (VASCONCELLOS *et al.*, 2013).

Os sistemas agroflorestais vêm recebendo destaque devido a sua capacidade de melhorar a ciclagem de nutrientes e as características dos solos degradados. Esse tipo de sistema surge como uma opção interessante para assegurar a expansão da agropecuária, com

baixa pressão sobre o avanço da fronteira agrícola, em concordância com a estratégia de Agricultura de Baixo Carbono (Programa ABC) (HERRERO *et al.*, 2010).

Os benefícios do sistema de produção integrada incluem a recuperação e manutenção de características produtivas do solo, redução da erosão, aumento da biodiversidade microbiana, o estabelecimento de pasto com boa produtividade e valor nutritivo, melhor desempenho dos animais, diversificação de produtos agrícolas e a melhor distribuição de renda (SANTOS *et al.*, 2008).

Sendo possuidor de particularidades, o solo em relação aos outros tipos de habitats terrestre apresenta uma complexa dinâmica e heterogeneidade. Entretanto, apesar do grande volume de informações já acumulada nosso real conhecimento sobre a dimensão, diversidade e o papel da microbiota do solo ainda requerem estudos (MOREIRA *et al.*, 2008). Logo, este trabalho teve como objetivo avaliar os atributos microbiológicos sob sistemas de produção integrada.

## 2 Material e Métodos

O trabalho foi realizado na região noroeste do Estado do Paraná, conhecido como arenito Caiuá de solo classificado como LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico. A descrição das áreas está apresentada abaixo:

- Sistema agrosilvipastoril (ASP): município de Iporã (23°59'57.6"S e 53°45'00.6"W); sistema implantado em 2009; área de 50 ha; *Eucalyptus* em fileira dupla com distância de 30 a 34 metros entre renques, onde são cultivadas soja e pastagem temporária (*Urochloa brizantha* cv. Piatã), no verão e inverno, respectivamente.

- Sistema agropastoril (AP): município de Perobal (23°53'45"S e 53°24'36"W); sistema implantado em 2010; área de 120 ha; cultivo de soja e pastagem temporária (*Urochloa brizantha* cv. Piatã), no verão e inverno, respectivamente.

- Sistema não integrado ou agricultura convencional (AC): município de Umuarama (23°49'10.8"S e 53°19'37.3"W); sistema de produção de soja (verão) e milho (inverno) em sucessão por mais 12 anos; área total de 60 ha.

- Mata Nativa (MT): município de Tapejara (23°43'27.0"S e 52°53'22.6"W); fragmento de floresta nativa, sem impacto das atividades antrópicas.

As coletas de solos foram realizadas em setembro e dezembro de 2014, períodos correspondentes ao pré-plantio e final do estágio vegetativo V12/R1-2 da cultura de soja,

respectivamente. Na primeira amostragem, foram analisadas as áreas ASP, nos renques (ASP-R) e entre-renques (ASP-ER), AP, AC e MT. Apenas as áreas com soja foram analisadas na segunda coleta, sendo ASP-R, ASP-ER, AP e A.

As amostras de solo foram coletadas em delineamento inteiramente casualizado. De 10 a 15 amostras simples da profundidade de 0 a 10 cm foram homogeneizadas para constituírem uma amostra composta, totalizando cinco repetições por área. O material foi acondicionado em sacos plásticos e transportado para o laboratório, onde foram peneiradas em malha de 2 mm e mantidas em geladeira até serem analisadas.

O teor de carbono orgânico total (COT) no solo foi determinado via oxidação úmida com dicromato de potássio e ácido sulfúrico (WALKLEY; BLACK, 1934, modificado por TEDESCO *et al.*, 1995). O carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS) foi determinado por fumigação-extração (VANCE *et al.*, 1987), expresso em mg de CBMS kg<sup>-1</sup> de solo. O quociente microbiano (*q*MIC) foi calculado a partir da razão entre CBMS e COT, expresso em porcentagem (BARETTA *et al.*, 2010).

A respiração basal do solo (RBS) foi quantificada por meio da determinação da respiração microbiana (C-CO<sub>2</sub>) segundo método, expressa em mg de C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> de solo h<sup>-1</sup>. A partir dos resultados de RBS e CBMS, foi calculado o quociente metabólico (*q*CO<sub>2</sub>), que representa a quantidade de C-CO<sub>2</sub> liberado em por unidade de biomassa (ANDERSON; DOMSCH, 1993).

A colonização pelos fungos micorrízicos arbusculares (FMA) foi determinada nas raízes com diâmetro menor que 2 mm após a clarificação com KOH 10%, acidificação com HCl 0,1N e coloração das estruturas dos FMA nas raízes com solução de azul de tripano 0,05% (PHILLIPS; HAYMAN, 1970). A porcentagem de colonização micorrízica foi determinada pelo método de intersecção (McGONIGLE *et al.*, 1990), observado a presença das estruturas dos FMA nas raízes (hifas asseptadas, arbúsculos e vesículas).

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O CBMS apresentou forte influência da matéria orgânica do solo, fato observado tanto na primeira como na segunda coleta, destacando as áreas com menores teores ASP-R e AC, e os maiores teores as áreas de MT, ASP-ER e AP (**Tabela 1**).

Basear-se especificamente em um único fator não é suficiente para representar a real qualidade do solo, uma vez que a interação entre eles ocorre de maneira complexa. Um indicador que se encaixa nas três vertentes da ciência do solo é a matéria orgânica, pois seus benefícios e funções não são restritos apenas a um tipo de atributo (MIELNICZUK, 2008). A matéria orgânica como fonte de carbono e nutrientes, influencia diretamente a população, a atividade e a diversidade da microbiota do solo, com aumento nesse parâmetro em solos com maior teor de matéria orgânica. (BAYER; MIELNICZUK, 2008).

**Tabela 1.** Atributos microbiológicos em diferentes áreas de sistema de integração lavoura-pecuária e floresta.

Áreas*	M.O.		CBMS		RBS		qCO <sub>2</sub>	
	g kg <sup>-1</sup>		mg C Kg solo <sup>-1</sup>		mg C-CO <sub>2</sub> Kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>		RBS/CBMS	
	1 Col.**	2 Col.**	1 Col.**	2 Col.**	1 Col.	2 Col.	1 Col.	2 Col.
ASP-R	15,2 c	20,66 b	105,2 c	148,3 b	0,75 b	0,62 a	7,21 a	4,28 b
ASP-ER	16,6 c	29,89 a	210,4 b	265,3 a	0,98 ab	1,09 a	4,68 b	4,68 b
AP	25,1 b	19,74 b	245,5 b	233,6 a	1,12 a	0,93 a	4,63 b	4,01 b
AC	14,8 c	11,38 c	199,6 b	144,5 b	0,92 ab	1,03 a	4,68 b	7,17 a
MT	32,7 a	-	339,4 a	-	1,03 ab	-	3,07 c	-
CV (%)	5,98	15,24	15,03	26,57	12,42	30,24	13,77	45,71

**Dados:** Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si no teste Tukey a 5% de probabilidade.

(\*)[ASP-R] Sistema Agrosilvipastoril Renque; [ASP-ER] Sistema Agrosilvipastoril Entre Renque; [AP] Sistema Agropastoril; [AC] Agricultura Convencional; [MT] Mata Nativa. (\*\*) 1 Col (Coleta Setembro); 2 Col (Coleta Dezembro); [CBMS] Carbono da Biomassa Microbiana do Solo; [qMIC] quociente Microbiano; [RBS] Respiração Basal; [qCO<sub>2</sub>] quociente metabólico do solo.

Alguns trabalhos tem demonstrado que em áreas de plantio direto (PD) e/ou com cultivo de leguminosas ou pastagem apresenta o aumento da biomassa microbiana, demonstrando a importância da utilização de matéria orgânica para a manutenção da atividade microbiana (MATSUOKA et al., 2003).

Os acréscimos da biomassa microbiana em áreas submetidas ao PD, prática adotadas em sistemas integrados, são devidos ao fato de tal prática proporcionar condições mais favoráveis ao desenvolvimento de microrganismos, como, por exemplo, temperatura, umidade, aeração e menor taxa de decomposição de componentes orgânicos, além do PD favorecer algumas propriedades químicas do solo, como pH e CTC, e os teores de Ca, Mg, K, P (SIDIRAS; PAVAN, 1985).

Os efeitos benéficos do plantio direto, nas características microbiológicas do solo, puderam ser observados nesse estudo, onde as áreas ASP-ER e AP apresentaram valores de CBMS significativamente superior aos da área AC (**Tabela 1**).

O comportamento diferencial da RBS foi significativamente menor na primeira coleta nas áreas ASP-R em função do menor CBM (**Tabela 1**), no entanto, temos que destacar os maiores valores do  $q\text{CO}_2$  na ASP-R e AC na primeira e segunda análise respectivamente e menor valor na MT por ser uma área apresento índices que indicam equilíbrio (**Tabela 1**). A área ASP-R apresentou maiores resultados em relação à umidade do solo, que pode ter sido ocasionado pela presença de eucaliptos na área AC sofreu estresse pelo manejo realizado na área de plantio, o que, provavelmente, pode explicar os valores de  $q\text{CO}_2$  nessas áreas.

O aumento na RBS entre a 1 C e a 2 C na área ASP-ER demonstra uma grande atividade microbiana em comparação aos demais (**Tabela 1**). Assim, deve-se salientar que a alta taxa de respiração pode ser interpretada como uma característica desejável, visto que a decomposição dos resíduos orgânicos irá disponibilizar nutrientes para as plantas (ROSCOE et al., 2006), como pode se observar na matéria seca e número de vagens que foi significativamente maior nesta área em comparação as demais áreas (**Tabela 2**).

Na segunda amostragem o CBMS também se mostrou maior no ASP-ER, seguido do AP, isto pode se explicar devido a altas quantidades de C liberado por este tipo de sistema. De acordo com Bowen; Rovira (1991) a disponibilidade de materiais com C, como ocorre nesses dois sistemas, liberado por este tipo de sistema e substratos como açúcares, aminoácidos e ácidos orgânicos liberados pelas raízes é importante suprimento de energia para a biomassa microbiana do solo.

A eficiência da utilização do carbono pela microbiota edáfica se baseia na incorporação de tal elemento a seus tecidos ou pelas perdas na forma de  $\text{CO}_2$  via respiração (MENDES et al., 2009), sendo expressa na forma de  $q\text{CO}_2$ , o qual indica condições estressantes quando atinge valores elevados (ANDERSON; DOMSCH, 1989).

Com isso pode-se observar que áreas bem manejadas de pastagens apresentam alto conteúdo de matéria orgânica e densa massa radicular, contribuindo para a biomassa microbiana na rizosfera (ALVARENGA et al., 1999). Essa massa aumenta o seu potencial qualitativo no processo de mineralização.

A relação entre CBM e Carbono Orgânico Total (COT) denominada de quociente microbiano ( $q\text{MIC}$ ) tem sido utilizado para expressar a qualidade da matéria orgânica do solo, sendo valores maiores e menores indicativo de acúmulo ou perda de C do solo. Alguns autores têm citado como valor de referência 2,2% como nível em equilíbrio (JENKINSON; LADD, 1981), no entanto, outros autores indicam 1,8% a 2,1% como ponto de equilíbrio em

áreas de monocultura extensivo. Tais valores podem variar de acordo com tipo, manejo e época de coleta (BALOTA et al., 1998).

Considerando a mata como ecossistema em equilíbrio foi utilizado o índice de 1,8% como referencial neste trabalho. Assim sendo, podemos verificar que a área ASP-R apresentou perda de C no solo e ASP-ER e AC acúmulo e demais áreas (MT e AP) tiveram valor próximo de 1,8%, considerado em equilíbrio (**Figura 1**). Na segunda coleta a mesma tendência foi verificado sendo que as áreas de ASP-R e AC tiveram perda e acúmulo de C do solo respectivamente (**Figura 2**).

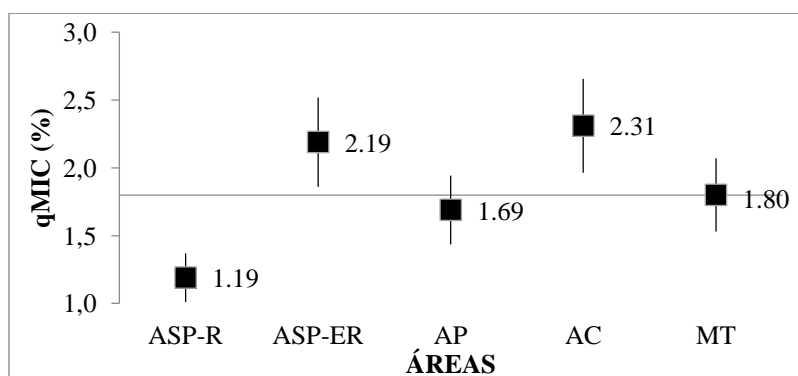
Nas áreas de longos anos de cultivo extensivo (grãos e pastagem) é frequente a perda de matéria orgânica no solo, e conseqüentemente perda na qualidade química, física e biológica do solo. No entanto, o manejo adequado do solo, principalmente com implantação de integração (culturas e rotações) tem a capacidade de manter ou aumentar o teor de matéria orgânica do solo (MARTIUS et al., 2001).

Na área ASP o acúmulo de matéria orgânica foi maior em função da cobertura vegetal (pastagem), o que contribuiu para a atividade biológica, principalmente na área ASP-ER, o que não ocorreu na AC. Tal fato está relacionado às vantagens do sistema agroflorestal apresentar árvores no sistema que pode melhorar as propriedades do solo através da fixação biológica de N<sub>2</sub>, extenso sistema radicular que libera exsudatos e nutrientes para a biomassa microbiana e um microclima mais adequado (ARAÚJO; MELO, 2012).

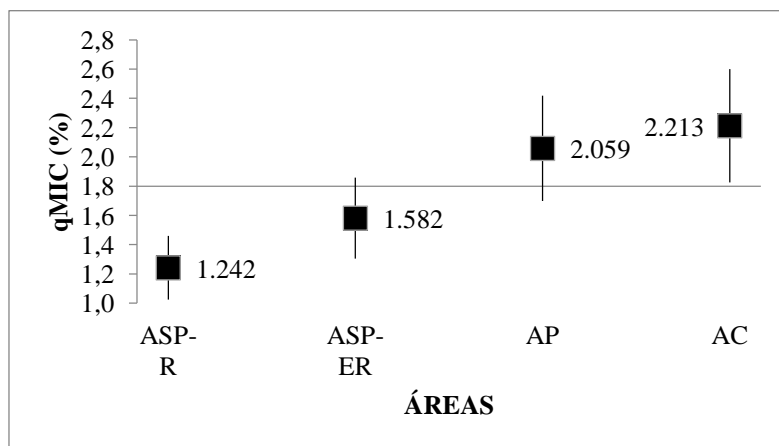
Em áreas de sistema florestais, a entrada de matérias orgânica se dá pela deposição e decomposição da serapilheira, dependendo da espécie vegetal, do clima, da idade das árvores e da densidade do plantio. A sustentabilidade das florestas incluem a manutenção ou incrementos nos níveis da matéria orgânica no solo, principalmente por serem a decomposição e a mineralização de resíduos os principais processos em que os nutrientes são disponibilizados para as plantas nesse ambiente (ARAÚJO, 2014).

A implantação de florestas de eucalipto pode levar a mudanças em várias características do solo. Entre estas, tem-se dado enfoque a matéria orgânica do solo (MOS) devido à sua estreita relação com a qualidade do solo. Os resíduos vegetais aportados são gradualmente decompostos pela biota do solo, retornando C e nutrientes ao solo, favorecendo, assim, o crescimento das plantas (PAVEI, 2005). Dessa forma, a MOS além de se constituir num componente importante do sequestro de C, é tida como principal indicador da sustentabilidade e produtividade dos agroecossistemas.

Acredita-se que a manutenção da MOS está assegurada dado ao grande aporte de resíduos deixado na área por ocasião da colheita. Assim qualidade do resíduo é fundamental, não apenas na determinação da sua dinâmica de decomposição, mas também, na sua conversão em diferentes componentes da MOS, em especial na fração mais estável (humificada). Porém, a manutenção de resíduos mais lábeis como folhas e galhos finos sobre o solo pode ser pouco efetiva na estabilização do C no solo, principalmente por este material poder exercer efeito “priming” positivo (FONTAINE et al., 2004) que, juntamente com os distúrbios gerados pela operação de colheita, pode contribuir para a diminuição no teor da MOS dos povoamentos de eucalipto.



**Figura 1.** Quociente Microbiano ( $qMIC$ ) das áreas analisadas na primeira coleta. **Dados:**<sup>(\*)</sup>[ASP-R] Sistema Agrosilvipastoril Renque; [ASP-ER] Sistema Agrosilvipastoril Entre Renque; [AP] Sistema Agropastoril; [AC] Agricultura Convencional; [MT] Mata.



**Figura 2.** Quociente Microbiano ( $qMIC$ ) das áreas analisadas na segunda coleta. **Dados:**<sup>(\*)</sup>[ASP-R] Sistema Agrosilvipastoril Renque; [ASP-ER] Sistema Agrosilvipastoril Entre Renque; [AP] Sistema Agropastoril; [AC] Agricultura Convencional.

Nas áreas de ASP-ER, AP e AC, a massa seca das plantas e o número de vagens foram superiores comparados com o sistema ASP-R. Este sistema ASP-R obteve menores resultados nos parâmetros umidade, número de vagens e matéria seca da soja (**Tabela 2**).

Avaliações realizadas por Almeida e colaboradores (2014), analisando umidade do solo em sistema ASP em diferentes horários, obtiveram uma redução na umidade nos renques de 50 a 60% comparada aos entre-renques (centro) da cultura. Tal resultado pode ser reflexo da existência de plantas eucalipto na área, pois a espécie possui rápido crescimento quando comparadas às espécies nativas, e isto faz com que a sua demanda por água seja maior, embora a eficiência no aproveitamento da mesma seja melhor. Assim como qualquer espécie vegetal, o eucalipto utiliza água para satisfazer suas demandas fisiológicas, promovendo assim o seu crescimento (OLERIANO; DIAS, 2007).

Isso pode se explicar o menor resultado apresentado pela área ASP-R, apresentando menor umidade do solo que as demais, o que influenciou também na queda do desenvolvimento do número de vagens e matéria seca da soja. No entanto, outros fatores podem influenciar na produção das vagens na planta, como a incidência de luz (radiação), fator decisivo para a produção do soja (SOARES et al., 2009), que em condições favoráveis, sem sombreamento, a taxa fotossintética é aumentada e conseqüentemente o desenvolvimento de estruturas reprodutivas e a produtividade (CÂMARA, 2009).

**Tabela 2.** Parâmetros fitométricos, matéria orgânica e umidade do solo em diferentes áreas de sistema de integração lavoura-pecuária e floresta.

Áreas *	UMIDADE %	MASSA SECA g	Nº vagem pl <sup>-1</sup>
ASP-R	8,13 c	23,80 c	34,33 c
ASP-ER	13,87 a	42,71 a	56,83 a
AP	9,62 bc	32,65 bc	50,17 ab
AC	12,61 ab	36,30 ab	38,33 bc
CV (%)	13,96	10,44	12,95

**Dados:** Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem a 5% de probabilidade no teste Tukey.

<sup>(\*)</sup>[ASP-R] Sistema Agrosilvipastoril Renque; [ASP-ER] Sistema Agrosilvipastoril Entre Renque; [AP] Sistema Agropastoril; [AC] Agricultura Convencional.

Tal competição por água entre a planta arbórea e a cultivada, seja cultivo de grãos ou pastagem, se evidencia pela análise ANOVA ( $p < 0,003$ ) da comparação entre sistemas de ASP e SP nos renques e entre-renques dos atributos microbiológicos do solo. Nos parâmetros CBM e  $qMIC$  observa-se aumento significativo, e redução no quociente metabólico ( $qCO_2$ ), demonstrando atividade microbiana mais equilibrado com menor estresse. Os mesmos

resultados são observados em comparação aos sistemas ASP e SP, a ação antrópica na área agrícola leva a menor biomassa microbiana e aumento no estresse metabólico (**Tabela 3**).

Os grupos funcionais de microrganismos do solo avaliados nas diferentes áreas de integração, pleno sol e pasto degradado apresentaram diferença significativa apenas na população celulolítica na área de silvipastoril e nos fixadores de N de vida livre na área agropastoril em comparação a pasto degradado (Perobal) (**Tabela 4**).

Os grupos funcionais no solo concentram-se na rizosfera, atuando em promover ou inibir o crescimento da planta (ANDRADE et al., 1998). No entanto, a composição da matéria orgânica no solo e as espécies de plantas presentes influenciam na dinâmica da comunidade microbiana e na eficiência de reciclar nutrientes. Assim sendo, a área de pastagem degradada além da menor matéria orgânica disponível apresenta diferença de exsudação pelas plantas (gramínea e leguminosa), afetando a comunidade microbiana principalmente dos fixadores de nitrogênio livre. Nas outras áreas esta população e de proteolíticos não apresentaram diferença significativa, no entanto, há uma tendência destas populações serem sensível a fatores abióticos como temperatura, demonstrando menor população em áreas de pleno sol.

**Tabela 3.** Atributos microbiológicos nas áreas ASP e SP nos renque e entre-renques

Áreas*	CBMS		<i>q</i> MIC		RBS		<i>q</i> CO <sub>2</sub>	
	mg C Kg solo <sup>-1</sup>		%		mg C-CO <sub>2</sub> Kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>		RBS/CBMS	
	R**	ER**	R	ER	R	ER	R	ER
ASP	105,2 Bb	210,4 Ba	1,19 Ab	2,20 Aa	0,75 Ba	0,98 Aa	7,21 Aa	4,68 Ab
SP	193,4 Ab	288,6 Aa	1,40 Ab	2,32 Aa	1,10 Aa	0,86 Aa	5,77 Ba	2,95 Bb
CV (%)	14,73		14,75		18,25		12,11	

**Dados:** Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem no teste Tukey a 5% de probabilidade.

(\*)[ASP] Sistema Agrosilvipastoril; [SP] Sistema Silvipastoril; (\*\*)[R] Renque; [ER] Entre-renques;

[CBMS] Carbono da Biomassa Microbiana do Solo; [*q*MIC] quociente Microbiano; [RBS] Respiração Basal; [*q*CO<sub>2</sub>] quociente metabólico do solo.

Segundo Almeida et al. (2014) a umidade do solo nos renques são 50 a 60% menor que nos entre renques, comprovando a competição por água entre as espécies consorciadas, havendo maior evapotranspiração no solo nos renques, fato este importante para comunidade microbiana, como observado na população de celulolíticos na área silvipastoril. Na área agrosilvipastoril não foi observado tal alteração em função da soja estar em estágio vegetativo, liberando exsudato para manutenção da comunidade microbiana.

As populações de proteolíticos e actinomicetos não apresentaram diferença no tempo da coleta das amostras (**Tabela 4**), demonstrando serem comunidades estáveis ao longo do período da cultura. No entanto, nas demais podemos verificar aumento das populações na

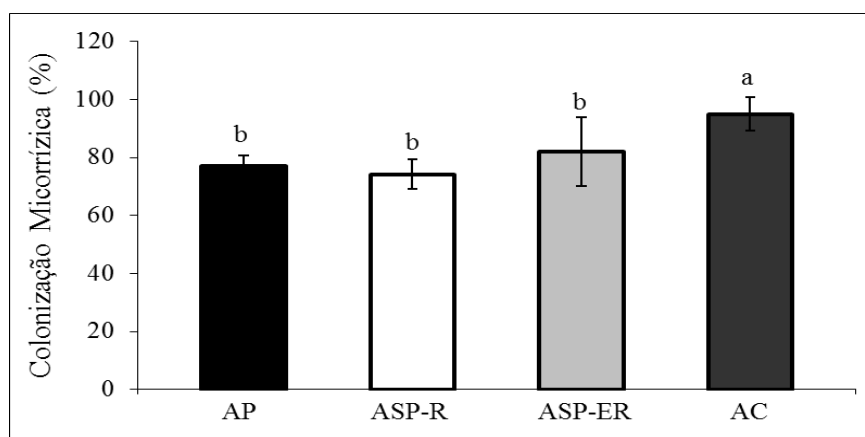
segunda coleta (amilolíticos, celulolíticos e *P. fluorescens*), este fato pode estar relacionada a necessidade da manutenção da comunidade microbiana no solo responsáveis pela decomposição da matéria orgânica e na supressão ou inibição de patógenos, como é o caso das *P. fluorescens*. Outro fato importante é a população de fixadores de nitrogênio livre que caiu na segunda coleta, a planta de soja é dependente de nitrogênio para o seu desenvolvimento, explicando o maior número na primeira coleta (**Tabela 4**).

A porcentagem de colonização micorrízica foi maior na área de longos anos de cultivo convencional de grãos (AC) em relação às demais áreas de integração (**Figura 3**). No sistema integração lavoura-pecuária, as comunidades de FMA, de um modo geral, se mostram mais ricas, diversificadas e uniformes que áreas rotação de culturas (SILVA, 2014). Porém, em áreas agrícolas o preparo do solo, a adubação e o sistema de cultivo exercem forte influência sobre os FMA, selecionando espécies geralmente resistentes, e não necessariamente simbioticamente eficientes (KIERS et al., 2011).

**Tabela 4.** Grupos funcionais de microrganismos em áreas de integração (agrosilvipastoril e agropastoril) e agricultura convencional, avaliados em setembro (1C) e dezembro (2C) de 2014.

ÁREA*	AMI**		CEL		PRO		Nfb		Psf		ACT	
	1C	2C	1C	2C	1C	2C	1C	2C	1C	2C	1C	2C
	(*) LogUFC g <sup>-1</sup> de solo											
ASP-ER	8,10Aa	8,36Aa	8,26Ab	9,22Aa	7,99Aa	8,01Aa	7,38Aa	6,78Ab	7,90Ab	8,56Aa	7,46Aa	7,63Aa
ASP-R	8,20Ab	8,80Aa	8,20Ab	9,42Aa	7,88Aa	7,69Ba	7,37Aa	6,85Ab	7,94Aa	7,96Aa	7,33Aa	7,69Aa
AP	8,42Ab	8,88Aa	8,36Ab	9,33Aa	7,91Aa	7,77Ba	7,61Aa	6,73Ab	7,97Ab	8,53Aa	7,52Aa	7,72Aa
AC	8,48Aa	8,59Aa	8,69Ab	9,28Aa	7,87Aa	7,99Aa	7,61Aa	6,63Ab	7,94Aa	7,90Aa	7,62Aa	7,66Aa
CV (%)	2,99		2,21		1,29		2,92		3,11		3,56	

**Dados:** Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha dentro da população de microrganismo não diferem em teste Tukey a 5% (p<0,05). [ASP-ER] Agrosilvipastoril entre-renque; [ASP-R] Agrosilvipastoril renque; [AP] Agropastoril; [AC] Agricultura Convencional; \*\*[AMI] População de amilolíticos; [CEL] população de celulolíticos; [PRO] população de proteolíticos; [Nfb] População de fixadores de N de vida livre; [Psf] População de *Pseudomonas fluorescens* e [ACT] População de actinomicetos.



**Figura 3.** Porcentagem de colonização micorrízica em áreas de integração e sem integração. **Dados:** [AP] Agropastoril; [ASP-R] Agrosilvipastoril nos

renques; [ASP-ER] Agrosilvipastoril nos entre renques; [AC] Agricultura convencional. Médias seguidas de mesma letra não diferem no teste Tukey a 5%.

Nos sistemas integrados avaliados no presente estudo, a eficácia da simbiose pode estar relacionada a teores de P presente no solo na fase inicial da cultura (1 C). A colonização micorrízica é diretamente influenciada negativamente pela presença de altos teores de P (SMITH; READ, 2008), e conforme observado no presente estudo, a área AC apresentou o menor valor de fósforo na primeira amostragem e a maior taxa de micorrização, enquanto as demais áreas nesta mesma amostragem (1 C) apresentaram elevados teores de P no solo e menores taxa de colonização por FMA. Além disso, as diferenças nos valores de colonização micorrízica entre a AC e as demais áreas podem estar relacionadas com a composição das comunidades, em termos de espécies ou de isolados de uma mesma espécie (SMITH; READ, 2008).

## 10 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos nas áreas sob sistema integrado apresentaram, em quase todos os parâmetros analisados, maior comunidade microbiana, maior teor de matéria orgânica, menor estresse, melhor eficiência na disponibilização de nutriente e maior massa seca das plantas quando comparado ao sistema convencional.

No sistema agrosilvipastoril nos renques há competição por água entre a silvicultura e a cultura da soja, fato que prejudica o desenvolvimento das plantas e a comunidade microbiana. Na área agrosilvipastoril entre-renques e agropastoril apresentaram melhores condições ambientais e edáficos para cultivo.

## 11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J. Evolução das atividades lavoureira e pecuária nos cerrados. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 570 p. il. color., 2003.

ALMEIDA, F. L.; CALONEGO, J. C.; CATUCHI, T. A.; TIRITAN, C. S.; ARAÚJO, F. F.; SILVA, P. C. G. Produtividade de soja em diferentes posições entre renques de Eucalipto em cultivo consorciado, **Colloquium Agrariae**, v. 10, n.1, p.33-44, 2014.

ALVARENGA, M. I. N.; SIQUEIRA, J. O.; DAVIDE, A. C. Teor de carbono, biomassa microbiana, agregação e micorriza em solos de cerrado com diferentes usos. **Ciência Agrotécnica**, v.23, p.617-625, 1999.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Determination of ecophysiological maintenance requirements of soil microorganisms in dormant stage. **Biology and Fertility of Soils**, v.11, p. 81-89, 1989.

ANDRADE, G.; MIHARA, K. L.; LINDERMAN, R. G.; BETHLEFALVAY, G. J. Soil aggregation status and rhizobacteria in the mycorrhizosphere. **Plant and Soil**, v. 202, p. 89-96, 1998.

ARAÚJO, A. S. F.; MELO, W. J. **Biomassa microbiana do solo**. Teresina: Serviço de Processamento Técnico da Universidade Federal do Piauí, 2012.

ARAÚJO; A. S. F.; MONTEIRO, R. T. S.; Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, p. 66-75, 2007.

BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. O.; STONE, L. F. Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta. Brasília: Embrapa. Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil ix **Pesq. agropec. bras., Brasília**, v.46, n.10,p 130 p.i-xii, out. 2011.

BALOTA, E. L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.641-649, 1998.

BARETTA, D.; BROWN, G. G.; CARDOSO, E. J. B. N. Potencial da Macrofauna e outras variáveis edáficas como indicadores da qualidade do solo em áreas com *Araucaria angustifolia*. **Acta Zoológica Mexicana**, Mexico, v. 2, p. 135-150, 2010.

BARRETO, P. A. B. **DISTRIBUIÇÃO DE FRAÇÕES ORGÂNICAS E CONTEÚDO DE C E N EM SOLOS SOB EUCALIPTO DE DIFERENTES IDADES E SISTEMAS AGROFLORESTAIS DE CACAU**. 2009. 81 f. Tese (Doutorado) - Curso de Produção Vegetal, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2009.

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

BOWEN, G. D.; ROVIRA, A. D. **The rhizosphere, the hidden half of hidden half**. In: Plant Roots. The Hidden Half. Eds. WAISE, A.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. pp. 641-669. Marcel Dekker, New York, 1991.

BROOKES, P. C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G.; JENKINSON, D. S. Chloroform fumigation and 337 the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biol. Biochem.**, 17:837-842, 1984.

CÂMARA, G. M. S. **Fisiologia da produção de soja**. In: CAMARA, G. M. S (Coord.). Soja & Cia. Piracicaba: ESALQ/USP, p.150-179, 2009.

FONTAINE, S.; BARDOUX, G.; BENEST, D.; VERDIER, B.; MARIOTTI, A.; ABBADIE, L. Mechanisms of the priming effect in a savannah soil amended with cellulose. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 68:125-131, 2004.

HERRERO, M.; THORNTON, P. K.; NOTENBAERT, A. M.; WOOD, S.; MSANGI, S.; FREEMAN, H. A.; BOSSIO, D.; DIXON, J.; PETERS, M.; STEEG, J. van de; LYNAM, J.; PARTHASARATHY RAO, P.; MACMILLAN, S.; GERARD, B.; MCDERMOTT, J.; SERÉ, C.; ROSEGRANT, M. Smart investments in sustainable food production: revisiting mixed crop-livestock systems. **Science**, v.327, p.822-825, 2010.

HUERTA, E.; WAL, H. Soil macro invertebrate abundance and diversity in home gardens in Tabasco, Mexico, vary with soil texture, organic matter and vegetation cover. **European Journal of Soil Biology**. v. 50, p. 68-75, 2012.

JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E.A.; LADD J.N (eds). **Soil biochemistry**. Marcel Dekker, p.425-471, 1981.

KIERS, E.T.; MARIE DUHAMEL, M.; BEESETTY, Y.; MENSAH, J.A. Reciprocal rewards stabilize cooperation in the mycorrhizal symbiosis. **Science**, 333:880-882, 2011.

MARTIUS, C.; TIESSEN, H.; VLEK, P. L.G. The management of organic matter in tropical soils: what are the priorities. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. Dordrecht, v.61, n. 1, p. 1-6, 2001.

MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. R. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 27, p. 425-433, 2003.

MCGONIGLE T. P.; EVANS D. G.; MILLER M. H. Effect of degree of soil disturbance on mycorrhizal colonization and phosphorus absorption by maize in growth chamber and field experiments. **New Phytologist**, 116:629-636, 1990.

MENDES, I. C.; DA CUNHA, M. H.; DOS REIS JUNIOR, F. B.; FERNANDES, M.; CHAER, G.; MERCANTE, F.; ZILLI, J. Bioindicadores para avaliação da qualidade dos solos tropicais: utopia ou realidade? **Documentos 246**, Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2009, 31p.: il.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.) **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: Ecossistemas Tropicais e Subtropicais**, 2.ed revisada e atualizada. Porto Alegre: Metropole, 654p.: il., 2008.

MOREIRA, F. M. S., SIQUEIRA, J. O., BRUSSAARD, L. **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**. Lavras: Ed. UFLA, pp. 768, 2008.

OLERIANO, E. S.; DIAS, H. C. T. "A dinâmica da água em microbacias hidrográficas reflorestadas com eucalipto". In: Anais I Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul. **O Eucalipto e o Ciclo Hidrológico**, Taubaté, Brasil, 07-09, IPABHi, p. 215-222, novembro 2007.

PAVEI, M. A. **Decomposição de resíduos culturais e emissão de gases de efeito estufa em sistema de manejo de solo em Ponta Grossa (PR)**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ecologia de Agrossistemas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Quieroz", Piracicaba, 114 pp. 2005.

PHILLIPS J. M, HAYMAN D. S. Improved procedures for clearing roots for rapid assessment of infection. **Transactions of British Mycological Society**, 55:158-161, 1970.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. Biomassa microbiana do solo. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J.C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, p.163-198, 2006.

SANTOS, M. V.; MOTA, V. A.; TUFFI SANTOS, L. D.; OLIVEIRA, N. J. F.; GERASEEV, L. C.; DUARTE, E. R. Sistemas Agroflorestais: potencialidades para produção de forrageiras no norte de Minas Gerais. In: GERASEEV, L. C.; OLIVEIRA, N. J. F.; CARNEIRO, A. C. B.; DUARTE, E. R. (Ed.). **Recomendações técnicas para vencer o desafio nutricional no período da seca**. UFMG: ICA, Montes Claros, p.99-109, 2008.

SIDIRAS, N.; PAVAN, M. A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, 9:249-254, 1985.

SILVA, R. **Simbiose Micorrízica Arbuscular e Atividade Microbiana do Solo Cultivado com Soja nos Sistemas Lavoura-Pecuária e Rotação de Culturas**. Dissertação de mestrado– Universidade Estadual de Maringá, 93 p., 2014.

SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. 3rd ed. New York; London: Academic Press, 800 p., 2008.

SOARES, A. B.; SARTO, L. R.; ADAMI, P. F.; VARELLA, A. C.; FONSECA, L.; MEZZALIRA, J. C. Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies forrageiras perenes de verão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 3, p. 443-451, 2009.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS-Departamento de Solos, 174p. (Boletim Técnico, 5). 1995.

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

VASCONCELLOS, R. L.; SEGAT, J. C.; BONFIM, J. A.; BARETTA, D.; CARDOSO, E. J. B. N. Soil macrofauna as an indicator of soil quality in an undisturbed riparian forest and recovering sites of different ages. **European Journal of Soil Biology**, v. 58, p. 105-112, 2013.

VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. G.; SOUSA, A. G. **Texto para discussão:** agricultura e crescimento: cenários e projeções. 2011. Disponível em: <[http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1450/1/td\\_1642.pdf](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1450/1/td_1642.pdf)>. Acesso em: 20 nov. 2105.

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