

2018-02-23

# Atributos químicos e microbiológicos do solo sob áreas de agricultura e mata nativa

Rocha, Leandro Mazo

Universidade Estadual do Norte do Paraná

---

ROCHA, Leandro Mazo. Atributos químicos e microbiológicos do solo sob áreas de agricultura e mata nativa. Orientadora: Teresinha Esteves da Silveira Reis. 2018. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Campus Luiz Meneghel, Universidade Estadual do Norte do Paraná, Bandeirantes, 2018.

<https://repositorio.uenp.edu.br/handle/123456789/479>

*Baixado de Repositório Institucional UENP*



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

**LEANDRO MAZO ROCHA**

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DO  
SOLO SOB ÁREAS DE AGRICULTURA E MATA  
NATIVA**

**BANDEIRANTES, PR.**

**BRASIL 2018**

LEANDRO MAZO ROCHA

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DO  
SOLO SOB ÁREAS DE AGRICULTURA E MATA  
NATIVA**

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

Orientador: Prof. Dra. Teresinha Esteves  
da Silveira Reis

**BANDEIRANTES, PR.  
BRASIL 2018**

Catálogo na publicação elaborada pela Biblioteca Central do Campus Luiz Meneghel da Universidade Estadual do Norte do Paraná.

Rocha, Leandro Mazo

R574a Atributos químicos e microbiológicos do solo sob áreas de agricultura e mata nativa / Leandro Mazo Rocha. – Bandeirantes, 2018.  
80 f. ilustr.

Orientador: Prof. Dr<sup>a</sup>. Teresinha Esteves da Silveira Reis.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Norte do Paraná, *Campus* Luiz Meneghel, 2018.

Banca: Dr<sup>a</sup>. Teresinha Esteves da Silveira Reis, Dr. Leopoldo Sussumu Matsumoto, Dr. Higo Forlan Amaral, Dr<sup>a</sup>. Luciana Grange, Dr. Luis Eduardo Azevedo Marques Lescano.

1. Microbiologia. 2. Mata Atlântica. 3. Solo. I. Universidade Estadual do Norte do Paraná. III. Título.

CDD – 579.2

LEANDRO MAZO ROCHA

# **ATRIBUTOS QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DO SOLO SOB ÁREAS DE AGRICULTURA E MATA NATIVA**

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

Aprovado em: 23/02/2018

## **COMISSÃO EXAMINADORA**

Prof <sup>ª</sup> . Dr <sup>ª</sup> . Teresinha Esteves da Silveira Reis	(UENP/CLM – Bandeirantes-PR)
Prof. Dr. Leopoldo Sussumu Matsumoto	(UENP/CLM – Bandeirantes-PR)
Prof. Dr. Higo Forlan Amaral	(UNIFIL – Londrina-PR)
Prof. Dr <sup>ª</sup> . Luciana Grange	(UFPR/Palotina – Palotina-PR)
Prof. Dr. Luis Eduardo Azevedo Marques Lescano	(UENP/CLM – Bandeirantes-PR)

---

Prof. Dra. Teresinha Esteves da Silveira Reis  
Orientadora  
Universidade Estadual do Norte do Paraná  
*Campus* Luiz Meneghel

## **DEDICATÓRIA**

A Deus pela minha vida, pela força que pôde me proporcionar para a realização desta pesquisa. Ao meu pai, minha mãe, meu irmão, minha querida namorada e aos meus professores e orientadores pelo apoio, força, amizade e incentivo. Sem eles não seria possível.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por poder me dar forças e amparar nos momentos difíceis (que não foram poucos), me proporcionando força interior e sabedoria para realizar as melhores decisões em minha vida.

Aos meus pais, por terem me dado educação e sabedoria para seguir na vida. À minha mãe Maria Inês por todo seu amor, toda sua força e genialidade, abdicando muitas vezes de sonhos e conquistas para o auxílio de minha formação profissional, sempre serei eternamente grato à ela. A meu pai Osvaldo, homem de muita força e garra, exemplo que sempre seguirei, por toda sua luta e história de vida, todos seus ensinamentos que me tornam a cada dia uma pessoa melhor. Meu muito obrigado, pois sem vocês nada disso seria possível.

A meu único irmão que Deus colocou em minha vida, que serve como uma referência profissional em minha vida, pessoa de muita perseverança, amor, carinho, lealdade e cumplicidade. Obrigado.

Aos meus Avós, Fernande, Vitalina, Gabriel e Joana (*in memoriam*), que de alguma forma sempre me deram forças em todas minhas caminhadas da vida, pessoas maravilhosas que me transformaram em uma pessoa melhor.

A meu sogro (Abib) e minha sogra (Júlia Maria), que sempre me apoiaram, ajudaram, com ensinamentos, momentos de alegria, amor, companheirismo. São como segundos pais que querem o bem do filho, obrigado.

A minha linda e bela namorada Juliana, fonte de minha força e inspiração. Obrigado pela paciência, amor, carinho, companheirismo e lealdade.

A todos os professores e mestres do programa de Mestrado em Agronomia da UENP pelos ensinamentos. Principalmente aos professores Dr. Leopoldo Sussumu Matsumoto, Gilberto Demétrio, Dr. Jethro Osipe, Dr. Guilherme Sachs, dentre outros.

A minha orientadora prof. Dra. Teresinha Esteves da Silveira Reis, pela confiança, inspiração, paciência, amizade e conversas construtivas. Fonte de ensinamento e sabedoria. Sem ela não seria possível desenvolver essa pesquisa.

Aos meus amigos e companheiros de laboratório, Gilberto, Esmeralda, Rodrigo, Igor (Cebola), Fabiano, Bruno, Frederico (Netão), Pedro (Pedrinho), por toda amizade, companheirismo e auxílio em laboratório. Cada um de vocês teve uma contribuição significativa em meu projeto.

Ao Sr. Carlos Pedroso e Carlos que cederam suas áreas para realização das coletas, sem isso não seria possível executar o projeto.

**A TODOS VOCÊS MEUS SINCEROS AGRADECIMENTOS.**

*“É no conhecimento que existe a chance de libertação. Uma pessoa que decide não conhecer, aceita sua condição de escravo, de submissão.”*

*(Leandro Karnal)*

ROCHA, Leandro Mazo. **Atributos químicos e microbiológicos do solo sob áreas de agricultura e mata nativa**. 2018. Dissertação de Mestrado em Agronomia - Universidade Estadual do Norte do Paraná, Campus Luiz Meneghel, Bandeirantes, 2018.

## RESUMO

O solo é um dos principais recursos básicos que tem como função dar sustentação e suporte para diversas espécies no planeta e também atua como substrato as plantas, fornecendo água e nutrientes, o que assegura a manutenção da vida na terra. Portanto, os diferentes sistemas e técnicas de manejo do solo atuam de forma direta nas propriedades físicas, químicas e biológicas, visto que o preparo está diretamente associado à disponibilidade e qualidade dos nutrientes disponíveis às plantas. Este trabalho teve por objetivo avaliar as áreas agrícolas e fragmento de mata nativa no período de inverno e verão, utilizando parâmetros químicos e microbiológicos de qualidade do solo. O estudo foi realizado no município de Bandeirantes - PR, no qual foram comparadas áreas de Soja, Milho, Cana-de-açúcar, Pastagem e quatro áreas de mata nativa (Mata de Centro, Área Reflorestamento, Área de Borda 1 e Borda 2) situada ao lado das áreas de cultura. Para as análises químicas foram determinados matéria orgânica do solo, carbono orgânico total, potencial hidrogeniônico, cálcio, magnésio, alumínio, fósforo, potássio, soma de bases e capacidade de troca catiônica. Para as análises microbiológicas foram determinados o carbono de biomassa microbiana, respiração basal do solo, quociente metabólico e quociente microbiano. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 8 x 2. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Os atributos químicos e microbiológicos foram submetidos à análise multivariada por componente principal separadamente. Os resultados obtidos nas áreas de vegetação nativa apresentaram dentre os parâmetros analisados, maior comunidade microbiana, teor de matéria orgânica, menor estresse, melhor eficiência na disponibilização de nutrientes quando comparado às áreas de agricultura. Sendo assim, os solos sob os diferentes sistemas de manejos e usos diferiram quanto as características químicas e microbiológicas em relação às áreas de vegetação do fragmento de Mata Atlântica, sendo que essas alterações são mais evidentes na camada superficial do solo. Os diferentes usos do solo influenciaram a atividade microbiana, sendo as condições mais favoráveis aquelas que ocorreram em áreas de mata. As áreas agricultáveis Soja, Milho, Cana-de-açúcar e Pastagem, apresentaram algumas diferenças em certos atributos como, pH, P, K, Ca e Mg na camada superior. Desta forma, Soja e Milho apresentou melhores índices de fertilidade e menores valores de CBM entre as áreas de agricultura. Os atributos microbiológicos de modo geral, não se diferenciaram entre as áreas de vegetação nativa, mostrando que há grande semelhança do comportamento da biomassa microbiana nesses quatro locais estudados.

Palavras-chaves: Microbiologia, mata atlântica, solo.

ROCHA, Leandro Mazo. **Chemical and microbiological attributes of soil in agriculture and native forest**. 2018. Dissertação de Mestrado em Agronomia - Universidade Estadual do Norte do Paraná, Campus Luiz Meneghel, Bandeirantes, 2018.

#### ABSTRACT

Soil is one of the main basic resources whose function is to provide support and support for several species on the planet and also acts as a substrate for plants, providing water and nutrients to them, which ensures the maintenance of life on earth. Therefore, the different systems and techniques of soil management act directly in the physical, chemical and biological properties, since the preparation is directly associated with the availability and quality of the nutrients available to the plants. The objective of this work was to evaluate the agricultural areas and fragment of native forest in the winter and summer period, using chemical and microbiological parameters of soil quality. The study was carried out in the city of Bandeirantes, PR, in which areas of Soja, Maize, Sugarcane, Pasture and four native forest areas (Mata de Centro, Reforestation Area, Borda Area 1 and Borda 2) situated next to the culture areas. Soil organic matter, total organic carbon, hydrogenation potential, calcium, magnesium, aluminum, phosphorus, potassium, sum of bases and cation exchange capacity were determined for the chemical analyzes. For the microbiological analyzes the microbial biomass carbon, soil basal respiration, metabolic quotient and microbial quotient were determined. The experimental design was completely randomized, arranged in an 8 x 2 factorial scheme. The data were submitted to analysis of variance and the means were compared by the Tukey test ( $p < 0.05$ ). The chemical and microbiological attributes were submitted to multivariate analysis by main component separately. The results obtained in the areas of native vegetation presented in the majority of analyzed parameters, greater microbial community, organic matter content, less stress, better efficiency in the availability of nutrients when compared to the agricultural areas. Thus, the soils under different management and use systems differed as regards the chemical and microbiological characteristics of the vegetation areas of the Atlantic Forest fragment, and these changes are more evident in the superficial layer of the soil. The different uses of the soil influenced the microbial activity, being the conditions more favorable those that occurred in areas of forest. The areas for agriculture Soybean, Corn, Sugar cane and Pasture, showed some differences in certain attributes such as pH, P, K, Ca and Mg in the upper layer. Thus, Soja and Maize had better fertility indexes and lower MBC values among the agricultural areas. Microbiological attributes in general were not differentiated between native vegetation areas, showing that there is a great similarity of microbial biomass behavior in these four studied sites.

Key words: Microbiology, atlantic forest, soil.

## ABREVIATURAS

- $\text{Al}^{3+}$  – Alumínio trocável
- $\text{BaCl}_2$  – Cloreto de bário
- BM – Biomassa microbiana
- C – Carbono
- $^{\circ}\text{C}$  – Graus Celsius
- $\text{Ca}^{2+}$  – Cálcio trocável
- $\text{CaCl}_2$  – Cloreto de cálcio
- CBM – Carbono da Biomassa Microbiana do Solo
- C-CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono
- CHCl<sub>3</sub> – Clorofórmio livre de etanol
- CLM – *Campus* Luiz Meneghel
- cm – Centímetro
- cmol<sub>c</sub> – Centimol de carga
- COT – Carbono Orgânico Total
- CTC – Capacidade de Troca Catiônica
- CV – Coeficiente de variação
- FeSO<sub>4</sub> – Sulfato ferroso
- ((FeSO<sub>4</sub>)7H<sub>2</sub>O) – Sulfato ferroso amoniacal
- g kg – Gramas por quilo
- ha – hectare
- H<sup>+</sup> - Íon hidrogênio
- H<sup>+</sup>Al – Acidez Potencial
- H<sub>2</sub>O – Água
- HCl – Ácido clorídrico
- KOH – Hidróxido de potássio
- H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> – Ácido Fosfórico concentrado
- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – Ácido Sulfúrico
- 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

$K_2Cr_2O_7$  – Dicromato de potássio

kg – Quilograma

M – Molaridade

$\mu\text{m}$  – Micrômetro

Mg – Megagrama

mg – Miligrama

$\text{mg dm}^3$  – Miligrama por decímetro cúbico

$\text{Mg}^{2+}$  – Íon Magnésio

mL – Mililitro

mm – milímetros

MO – Matéria Orgânica

MOS – Matéria Orgânica do Solo

NaOH – Hidróxido de Sódio

NPK – Nitrogênio fósforo e potássio

$\text{O}_2$  - Oxigênio

P – Fósforo

pH – Potencial Hidrogeniônico

PIB – Produto Interno Bruto

Ps – Peso seco de solo (g)

$q\text{CO}_2$  – Quociente Metabólico

$q\text{MIC}$  – Quociente Microbiano

R1 - Estádio Reprodutivo inicial - Início da floração: até 50% das plantas com flor

RBS – Respiração Basal do Solo

rpm – Rotações Por Minuto

SB – Soma de Bases

TFSA – Terra seca fina ao ar

UENP - Universidade Estadual do Norte do Paraná

Vn – último nó com trifólio aberto, antes da floração

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Visualização espacial da área de estudo na região norte do Estado do Paraná e uso do solo no entorno da mata nativa.....	29
<b>Figura 2.</b> Temperatura média nos meses de coleta de solo.....	34
<b>Figura 3.</b> Coleta de solo com trado holandês.....	35
<b>Figura 4.</b> Aerofotografia da área de estudo no ano de 1965.....	35
<b>Figura 5.</b> Imagem fragmento florestal da área de estudo.....	36
<b>Figura 6.</b> Ponto estequiométrico de oxirredução de Carbono de Biomassa Microbiana.....	43
<b>Figura 7.</b> Figura A: incubação da Respiração Basal do solo. Figura B: ponto estequiométrico de neutralização do ácido-base ao final da titulação.....	44
<b>Figura 8.</b> Análise por componentes principais dos atributos químicos do solo em profundidade de 10 cm no inverno (A) e no verão (B).....	55
<b>Figura 9.</b> Análise por componentes principais dos atributos químicos do solo em profundidade de 20 cm no inverno (A) e no verão (B).....	55
<b>Figura 10.</b> Análise por componentes principais dos atributos microbiológicos do solo em profundidade de 10 cm no inverno (A) e no verão (B).....	60
<b>Figura 11.</b> Análise por componentes principais dos atributos microbiológicos do solo em profundidade de 20 cm no inverno (A) e no verão (B).....	60

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Descrição das áreas amostradas no período de inverno.....	30
<b>Tabela 2.</b> Descrição das áreas amostradas no período de verão.....	32
<b>Tabela 3.</b> Atributos químicos em diferentes áreas de cultivo e fragmento de mata nativa em profundidade de 0 – 10 cm e 10 – 20 cm.....	50
<b>Tabela 4.</b> Atributos microbiológicos em diferentes áreas de cultivo e fragmento de mata nativa em profundidade de 0 – 10 cm e 10 – 20 cm.....	65
<b>Tabela 5.</b> Autovetores dos componentes principais para as análises dos atributos químicos e microbiológicos de diferentes áreas de manejos na região Bandeirantes – PR. ANEXO – 1 .....	81

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>6</b>
<b>ABREVIATURAS .....</b>	<b>10</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>12</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>13</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>18</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>19</b>
2.1 O SETOR AGROPECUÁRIO .....	19
2.2 CULTURAS PERENES E ANUAIS .....	20
2.2.1 Cana-de-açúcar .....	20
2.2.2 Milho .....	21
2.2.3 Pastagem.....	22
2.2.4 Soja.....	23
2.3 MATA ATLÂNTICA BRASILEIRA .....	24
2.4 INDICADORES BIOLÓGICOS DE QUALIDADE DO SOLO.....	26
2.4.1 Matéria Orgânica do solo .....	26
2.4.2 Biomassa Microbiana .....	27
2.4.3 Respiração Basal do solo.....	28
2.4.4 Quociente metabólico ( $qCO_2$ ) .....	28
2.4.5 Quociente microbiano ( $qMIC$ ) .....	29
<b>3 OBJETIVO GERAL.....</b>	<b>30</b>
3.1 OBJETIVO ESPECÍFICO .....	30
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>31</b>
4.1 ÁREAS AMOSTRADAS .....	31
4.2 AMOSTRAGEM DOS SOLOS .....	36
4.3 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE RELATIVA DO SOLO .....	38
4.4 ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO.....	39
4.4.1 Potencial hidrogeniônico (pH) .....	39
4.4.2 Determinação da capacidade de troca de cátions do solo (CTC) .....	39
4.4.3 Alumínio trocável.....	40
4.4.4 Cálcio e magnésio trocáveis .....	40
4.4.5 Cálcio trocável.....	40
4.4.6 Magnésio trocável .....	40
4.4.7 Saturação por bases .....	41
4.4.8 Soma de bases .....	41
4.4.9 Acidez trocável (H+Al) .....	41
4.4.10 Acidez potencial .....	42

	17
4.4.11 Potássio.....	42
4.4.12 Fósforo.....	43
4.5 DETERMINAÇÃO DO CARBONO DE BIOMASSA MICROBIANA .....	43
4.6 DETERMINAÇÃO DA RESPIRAÇÃO BASAL DO SOLO .....	45
4.7 DETERMINAÇÃO DO QUOCIENTE METABÓLICO DO SOLO .....	47
4.8 DETERMINAÇÃO DO CARBONO ORGÂNICO TOTAL DO SOLO (COT).....	47
4.9 DETERMINAÇÃO DO QUOCIENTE MICROBIANO DO SOLO ( $q_{MIC}$ ) .....	47
4.10 ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....	48
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>49</b>
5.1 ANÁLISES COMPARATIVAS DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS .....	49
5.2 ANÁLISES COMPARATIVAS DOS PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS .....	58
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>68</b>
<b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>69</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O solo é um dos recursos básicos que serve para dar suporte e sustentação às diversas espécies no planeta, uma vez que atua no fornecimento de alimentos e bioenergia. O mesmo também opera como substrato para as plantas promovendo e aprisionando elementos básicos para a nutrição dos vegetais, o que garante o sustento da vida e crescimento das plantas.

Os diferentes sistemas de manejo influenciam de forma direta as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Uma vez que o tipo de preparo está ligado às condições de disponibilidade, qualidade e quantidade de nutrientes no solo. Nesse contexto, a microbiota do solo possui extrema importância para a manutenção dos ecossistemas, atuando de forma direta nos ciclos biogeoquímicos, estruturação do solo, ciclagem dos nutrientes, decomposição e transformação da matéria orgânica, contribuindo para os processos como pH, troca de cátions, condutividade elétrica. Tais ações auxiliam na melhoria da estrutura, estabilidade dos agregados e disponibilidade de nutrientes, refletindo de forma direta na qualidade do solo e produtividade da cultura implantada.

Diversos atributos são estimados, como alguns bioindicadores para monitorar e gerir a qualidade dos solos brasileiros com o objetivo de caracterizar ambientes que devem ser recuperados.

Os indicadores biológicos de qualidade do solo merecem atenção, pois são responsáveis por processos essenciais, como: decomposição de restos orgânicos, síntese de substâncias húmicas, ciclagem dos nutrientes e agregação das partículas do solo. Sendo assim, os microrganismos têm sido amplamente estudados e utilizados como bioindicadores para monitorar as alterações ocorridas no meio ambiente, devido as diferentes práticas agrícolas.

O presente estudo tem por objetivo avaliar áreas agrícolas e fragmento de mata nativa no período de inverno e verão, utilizando parâmetros químicos e microbiológicos de qualidade do solo entre os períodos de inverno e verão.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 O SETOR AGROPECUÁRIO

A produtividade agrícola no Brasil está em expansão com forte crescimento a cada safra, independentemente das alterações climáticas que são registradas nos últimos anos, tais aumentos podem interferir diretamente no abastecimento mundial de alimentos. Mesmo com este quadro a produção agrícola mundial não foi afetada (BRASIL, 2016a).

A agropecuária no Brasil possui papel importante no desenvolvimento da sociedade e com o passar do tempo começou a se tornar um setor estratégico. Em vários momentos, teve papel contrário ao ciclo econômico do país, como ocorreu na década de 1980 e em períodos da década de 1990 devido aos altos valores dos produtos agropecuários (BUAINAIN; GARCIA, 2010). De acordo com o Ministério da Agricultura o agronegócio em 2017 foi um setor em expansão, com uma perspectiva do Produto Interno Bruto (PIB) agrícola e pecuário tenha um aumento aproximado de 3,61% em relação ao ano anterior. A estimativa feita pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), em janeiro, indicou que a safra poderá chegar a 215,3 milhões de Mg em relação ao período passado, com uma avaliação de crescimento médio de 15,3%, o equivalente a 28,6 milhões de toneladas a mais que a produção anterior (BRASIL, 2017a).

Com o aumento da demanda por alimentos, a atividade agrícola moderna passou a se caracterizar em sistemas simplificados de monocultura. Além disso, a expansão da agricultura, o manejo mecanizado do solo, o uso de agroquímicos, as atividades agrícolas, pecuárias e florestais tornaram a ser realizado de modo independente e intensificado. Esse modelo de produção prevalece nas propriedades rurais no mundo todo, porém, esta forma de uso da terra tem apresentado grandes sinais de saturação, em razão da elevada demanda por recursos naturais (BALBINO et al., 2011). Sendo assim, segundo Macedo (2009), as práticas culturais impróprias tem ocasionado perdas significativas de produtividade, ocorrência de pragas e doenças, degradação do solo e ambiente. Em áreas de lavouras, pastagens naturais e plantadas, verifica-se o predomínio de sistemas de monocultura e, na maioria dos casos, não se verifica o uso de boas práticas agronômicas, o que resulta na degradação da qualidade dos solos, que tem como consequência a baixa produtividade e elevada taxas de erosão (BALBINO, 2001; HERNANI et al., 2002).

Contudo, o uso irregular e intensivo da terra vem prejudicando cada vez mais a qualidade do solo nas regiões agrícolas. Sendo que esta qualidade pode ser determinada como a capacidade funcionar dentro do biossistema, permitindo a sustentabilidade biológica, o que favorece o crescimento e manutenção das plantas, animais e do homem (BARETTA et al.,

2010).

Segundo Giesteira (2011), as práticas de manejo, como plantio direto, que não proporcionam o revolvimento do solo nos sistemas de plantio, acumulam material orgânico nas primeiras camadas, o que melhora os inúmeros indicadores de qualidade, e, conseqüentemente leva a diminuição da compactação (CARVALHO et al., 2011). Este tipo de interferência leva em consideração não apenas o solo como um suporte físico para a produção de alimentos, mas enfatiza a importância do mesmo como um recurso fundamental para o funcionamento dos ecossistemas (TÓTOLA; CHAER, 2002).

Portanto, avaliar os atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo torna-se fundamental para explicar o funcionamento das variáveis ambientais do solo, e sua atuação sobre a diversidade edáfica (VASCONCELLOS et al., 2013).

## 2.2 CULTURAS PERENES E ANUAIS

### 2.2.1 Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) foi introduzida no país no período colonial, sendo uma das principais culturas da época. O Brasil, atualmente, é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo e vem conquistando ao longo do tempo o mercado externo devido à produção de açúcar e etanol (alternativa energética sustentável). O setor caminhou para uma média de aumento de 2,9 % em relação à safra 2015/2016 com uma estimativa de produção de aproximadamente de 684,77 milhões de toneladas para a safra 2016/2017 (BRASIL, 2017b).

O estado do PR é o quinto maior produtor de cana do país, terceiro em produção de açúcar e quinto em etanol, sendo que 52% são convertidos em açúcar e 48% em álcool. Com uma área estimada em aproximadamente 621,8 mil hectares, com produtividade entre 74,5 mil quilos por hectare. A produção de açúcar deve permanecer entre 3,26 milhões de toneladas e de etanol em 1,67 bilhão de litros (PARANÁ, 2016a).

A cana-de-açúcar desenvolve-se em diversos tipos de solo por ter uma alta rusticidade, mesmo assim a cultura exige um bom preparo do solo, uma vez que predomina no campo por no mínimo cinco anos. Quando a área de plantio for de primeira instância para o cultivo, necessita-se de tratamentos culturais como, aração com 30 cm de profundidade seguida de ao menos de uma gradagem para o destorroamento e nivelamento do terreno. Já em áreas onde ocorre o cultivo da mesma, é necessária uma aração para cortar as raízes que sobram da cultura anterior, a fim de que as incorpore no solo para o acúmulo de M.O. Durante todas as

etapas do cultivo, ocorre o uso intensivo de maquinários agrícolas, desde o preparo do solo até o momento da colheita. Este tráfego pesado sobre o solo pode levar à compactação, que gera grandes efeitos negativos na taxa de infiltração de água no solo (BASTOS, 1987).

Desta forma, de acordo com Resende Silva et al. (2011), o intenso movimento de máquinas agrícolas torna-se um dos principais responsáveis pela densidade e resistência do solo à penetração, que tem como consequência a compactação do solo, limitando o desenvolvimento das raízes das culturas. Contudo, no Brasil o método de exploração da cana-de-açúcar utiliza de práticas que degradam o solo e o meio ambiente (OLIVEIRA et al., 1999).

Nesse contexto alguns parâmetros biológicos podem ser usados para prever as alterações do solo, pois possuem capacidade de responder as mudanças no meio; e o fato da atividade microbiana refletir nos possíveis fatores responsáveis pela degradação da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes (BEHERA; SAHANI, 2003; ZHANG et al., 2011).

### 2.2.2 Milho

A cultura do milho (*Zea mays* L.) no Brasil se instalou com ideia inicial de alimentação direta à população humana, porém atualmente a maior parte da safra produzida tem destino na alimentação animal. Cultivado principalmente no Centro-oeste, Sul e Sudeste, as projeções apontam para um aumento de 19,1 milhões de toneladas da safra 2008/2009 para 2019/2020, a produção ficará em torno de 70,1 milhões de toneladas (BRASIL, 2016b).

O estado do PR é o segundo maior produtor desta cultura, com aproximadamente 2,19 milhões de hectares plantados. Com uma estimativa inicial de produção em torno de 11,3 a 11,4 milhões de toneladas. Suas lavouras sofreram prejuízos de 12% na safra 2015/2016 em relação à estimativa inicial, devido à estiagem que ocorreu principalmente na região norte do estado que foi atingido por fortes geadas, este cenário levou a escassez do grão e consequentemente fez os preços aumentarem de forma inusitada em junho de 2016 (PARANÁ, 2016b).

O milho tem seu desenvolvimento limitado pela umidade (média de 600 mm), luminosidade e temperatura (entre 24 e 30°C); para que atinja ótimos níveis de produção, sendo assim, necessita que esses fatores estejam em índices ótimos para que a planta consiga expressar o seu máximo de produção. Para o plantio da cultura, a época de semeadura mais apropriada àquela que coincide o período de floração com os dias mais longos do ano e o enchimento dos grãos na época com maiores índices de temperatura, quando as condições de precipitação são satisfatórias. O atraso do período de semeadura pode levar a altas perdas de

produtividade, podendo chegar a 60 kg/ha/dia. Na região Sudeste do país verifica-se o plantio entre os meses de outubro e novembro, concentrando as lavouras com produtividade em torno de 8.000 kg ha<sup>-1</sup>. A profundidade da sementeira deve variar entre 3 a 5 cm, isso em solos argilosos, já em solos arenosos recomenda-se ser colocadas entre cinco e sete centímetros para se obter o maior beneficiamento do teor de umidade encontrado no solo. A cultura não tolera excesso de plantas por metro quadrado, pois pode influenciar diretamente no nível final de produtividade, sendo uma variação de 40.000 a 80.000 plantas ha<sup>-1</sup> levando em conta a variedade a ser plantada, com um espaçamento de 45 a 50 cm entre as fileiras (CRUZ et al., 2010).

Segundo Possamai et al., (2001), a maior produtividade obtida com a cultura do milho ocorre quando se utiliza o sistema de plantio direto que proporciona menor número de dias para florescimento, maior diâmetro de colmo, maior altura de plantas, elevado número de espigas por hectare e maior índice de espigas. Assim sendo, o milho possui a capacidade de oferecer uma grande quantidade de restos culturais (palhada), que quando bem manejados, contribuem na redução da erosão e transição para melhor estado do solo, dessa forma, sua inserção é de extrema importância no sistema de rotação, tornando-se essencial em longo prazo (CRUZ et al., 2002).

### 2.2.3 Pastagem

A pecuária é uma das atividades mais importantes do agronegócio, tendo participação direta no PIB do país, além de contribuir de forma significativa na geração de empregos. A pecuária de corte coloca o Brasil entre os líderes mundiais na produção de carne bovina (Andrade et al., 2013). Atualmente o país possui cerca de 30 milhões de ha de pastagens em algum grau de degradação, comprometendo a produtividade animal. Através de práticas mais sustentáveis, é possível torná-los produtivo novamente. Dentre as tecnologias de recuperação é possível destacar sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta, plantio direto e agricultura orgânica (BRASIL, 2016c).

Kluthcouski; Aidar (2003) alertam que os principais problemas na pecuária do país são a deterioração do solo e das pastagens, bem como o manejo de forma inadequada do animal, em conjunto com a falta de reposição de nutrientes no solo. Essas restrições agravam a sustentabilidade da pecuária, trazendo consequências negativas como, baixa produtividade da carne e do leite por hectare, baixa oferta de forrageiras e automaticamente a redução do retorno econômico da produção (BALBINO et al., 2011). Nesse contexto, é imprescindível analisar e avaliar a dinâmica das mudanças do uso do solo, o que se torna primordial para

entender impactos ou mesmo restaurar, em parte, as condições naturais das áreas de pastagens (MMA, 2016).

#### 2.2.4 Soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma planta originária do Oriente (China), sendo uma leguminosa herbácea pertencente à família Leguminosa e, subfamília Papilionoideae e do gênero *Glycine* L., seu aparecimento se deu através do cruzamento natural entre espécies selvagens de soja que foram domesticadas por antigos cientistas (EMBRAPA, 2004; GOMES, 1990; BORÉM, 2005).

A soja no Brasil é cultivada principalmente nas regiões Sul e Centro Oeste, sendo um dos produtos com maior destaque de produção, com 49% da área plantada em grãos do país nos últimos trinta anos (BRASIL, 2016d).

Conhecida como uma das plantas cultivadas mais antiga do mundo, chegando ao Brasil em meados de 1882 dos Estados Unidos da América, vindo como cultura forrageira e casualmente era utilizada como produtora de grãos para animais e indústria. No estado do Paraná por volta dos anos 1950 a cultura começou a ser instalada nas lavouras, sendo que na maioria das vezes era designada para a alimentação de suínos. O primeiro grande estímulo surgiu depois da grande geada que ocorreu no estado em 1975 destruindo os cafezais e impulsionando os agricultores a utilizar da soja como uma alternativa de produção (EMBRAPA, 2014).

No Brasil a área plantada é de aproximadamente 33,890 milhões de ha, com uma produção em torno de 113,923 milhões de toneladas e produtividade esperada em média de 3.362 kg ha<sup>-1</sup>. Desse total o PR produz 19,534 milhões de toneladas, com uma área plantada de 5,250 milhões de ha (EMBRAPA, 2017).

Quando se trata da cultura da soja, é importante ressaltar da disponibilidade hídrica, visto que a planta sofre tanto pelo excesso quanto pelo déficit de água, de acordo com o seu desenvolvimento a cultura vai expandindo sua necessidade por água, variando entre 450 a 800 mm por ciclo. Em relação às temperaturas exigidas pela planta, ocorre uma variação entre 20°C e 30°C, sendo que temperaturas acima de 40°C causa efeito negativo na taxa de crescimento, problemas na floração e número de vagens (EMPRAPA, 2011).

A soja apresenta um grande potencial para exercer diversas funções nos sistemas de produção agrícola, segundo Ferreira et al., (2010) estudando os efeitos das rotações de culturas no teor de carbono orgânico do solo e atividades da biomassa microbiana, evidenciaram que é possível aumentar de forma significativa à atividade microbiana, sendo

representado pelo carbono liberado pelos microrganismos. Além de desenvolver um produto de alto valor biológico, como o teor de proteína dos grãos, apresenta capacidade de fixar quantidades de nitrogênio no solo (HUNGRIA et al., 1994).

Neste caso, as características microbiológicas do solo em conjunto ao conteúdo orgânico de C pode ser utilizado como parâmetro para qualificar a sustentabilidade da produção dentro dos sistemas agrícolas. Sendo estas propriedades descritas como indicadores biológicos capazes de detectar pequenas alterações na qualidade do solo e nas propriedades biológicas (NOGUEIRA et al., 2006).

### 2.3 MATA ATLÂNTICA BRASILEIRA

A Mata Atlântica é a área de formação florestal mais antiga do Brasil, composta por diversas fitofisionomias, o que confere expressiva diversidade ambiental, sendo apontado como um dos ecossistemas mais ricos diversidade de espécies do mundo (RBMA, 2012), atinge cerca de 15 estados brasileiros, desde as regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste (MMA, 2016).

O bioma Mata Atlântica possui diversas formações florestais (Floresta Ombrófila Densa, Ombrófila Mista, Ombrófila Aberta, Estacional Decidual e Estacional Semidecidual) que são associados a ecossistemas como manguezais, restingas e campos de altitude. Atualmente a sua cobertura vegetal está em torno de 22% de sua cobertura inicial, sendo que apenas 7% estão bem conservados. Este bioma mesmo fragmentado apresenta cerca de 35% das espécies vegetais existentes no país. Com relação à fauna estima-se que a Mata Atlântica possui aproximadamente 849 espécies de aves, 200 espécies de répteis, 370 espécies de anfíbios, 350 espécies de peixes e 270 espécies de mamíferos. Sendo assim é uma das regiões com maior biodiversidade do mundo, do qual em torno de 120 milhões de pessoas vivem em sua área, uma vez que o bioma gera em média 70% do PIB brasileiro na geração de recursos naturais. As áreas de proteção do bioma avançaram de forma significativa nos últimos anos, devido às políticas públicas federais, estaduais e municipais, porém ainda não é o suficiente, pois existem áreas totalmente desprotegidas e degradadas necessitando de iniciativas para o aumento da conservação (MMA, 2016).

A conservação da biodiversidade na Mata Atlântica representa um desafio devido ao elevado nível de fragmentação que o bioma apresenta. Os remanescentes são encontrados na forma de pequenos fragmentos que são pouco conhecidos e pouco protegidos, sendo que a maioria apresenta-se introduzidos em paisagens extremamente antropizadas. O restante de cobertura vegetal encontra-se dividida em diversos fragmentos de tamanhos variados, onde a

maior parte é encontrada em regiões montanhosas, margens dos rios e ecossistemas litorâneos (ROCHA et al. 2003). O outro problema observado está no tamanho pequeno dos fragmentos, que pode ser insuficiente para manter a diversidade da fauna e flora, tanto no aspecto ecológico como genético (LANDE, 1988).

O uso do solo após a retirada da vegetação nativa tem apontado modificações nas propriedades biológicas, físicas e químicas, sendo elas dependentes das condições apresentadas no solo, tipo de cultura, clima e da forma de manejo (MARCHIORI; MELO, 2000). Sendo assim, converter áreas florestais em áreas agrícolas altera toda a atividade de ciclagem de nutrientes no sistema solo-planta-atmosfera, o que reflete diretamente na redução da matéria orgânica do solo (MOS). Contudo, a conversão de áreas florestais em áreas de produção agropecuárias acarretam perdas aproximadas de 22% do carbono armazenado na MOS, acarretando prejuízo direto na ciclagem de nutrientes como o N e o P (MURTY et al., 2002).

Segundo Leite et al. (2003) relatam que em sistemas de produção agrícolas a matéria orgânica pode ser modificada de acordo com o tipo de manejo utilizado, tipos de rotação de culturas, métodos de preparo do solo e aplicação de fertilizantes químicos que podem controlar os processos de mineralização e decomposição nas camadas do solo. Os mesmos autores observaram que em áreas cultivadas por longos anos sob diversas formas de manejo, levam a redução dos estoques de carbono orgânico total (COT), em comparação com áreas de Mata Atlântica.

Considerando o importante papel desempenhado pela comunidade microbiana no processo de formação do solo, no funcionamento da vegetação e na formação da matéria orgânica, avaliar o nível da comunidade microbiana pode servir como um indicador do progresso da restauração ambiental (MUMMEY et al., 2002). Sendo assim estimar a biomassa microbiana do solo pode servir como indicador das mudanças que ocorrem na matéria orgânica total presente no solo, o que pode proporcionar um índice de fertilidade, representando um importante aliado na prevenção de perdas de nutrientes do mesmo (HENROT; ROBERTSON, 1994). Segundo Nael et al. (2004) os teores de C orgânico presente no solo e a atividade da microbiota podem servir como parâmetro para apontar o grau de conservação das florestas.

## 2.4 INDICADORES BIOLÓGICOS DE QUALIDADE DO SOLO

A definição de qualidade do solo (QS) segundo Doran; Parkin (1994) começou a ser elaborada na década de 1990 para a aptidão agrícola do uso do solo, como desenvolvimento das pesquisas ao longo do tempo. O conceito começou a se transformar e pode ser definido como um solo de qualidade, aquele que é capaz de operar nos limites de um ecossistema, desde que sustente a produtividade biológica, a qualidade do ambiente e ao mesmo tempo promova a saúde de plantas e animais (CONCEIÇÃO et al., 2005). Nesse contexto, o solo torna-se um recurso indispensável para que os ecossistemas terrestres tenham um bom funcionamento, pois possuem funções de armazenamento de água, habitat de microrganismos, ciclagem da matéria, produção agrícola e meio físico para o homem. Estas funções estão diretamente ligadas aos organismos encontrados na superfície do solo, pois são determinantes para a melhora dos atributos químicos e físicos do mesmo (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007; HERTA; WAL, 2012).

A ação dos microrganismos tem sido recomendada pela comunidade científica como um sensível indicador de processos de restauração do solo nos ambientes naturais, e sistemas de produção agrícola (BADIANE et al., 2001; SCHROTH et al., 2002). Assim, os organismos do solo são amplamente estudados como indicadores biológicos para monitorar as mudanças ambientais derivadas das práticas agrícolas (SILVA et al., 2013).

### 2.4.1 Matéria Orgânica do solo

A Matéria orgânica do solo (MOS) é considerada como um dos indicadores mais sensíveis às modificações pelo manejo, o que reflete diretamente na QS. Há decréscimo significativo nos teores de matéria orgânica durante os primeiros anos de cultivo, após vinte ou trinta anos a quantidade de MOS entra em equilíbrio. Em sistemas agrícolas pode ocorrer a prática de revolvimento do solo, que altera as propriedades físicas e químicas do solo, favorecendo a liberação de CO<sub>2</sub> para a atmosfera (FURTINI NETO et al., 2001).

O manejo da matéria orgânica (MO) é totalmente dependente de substratos orgânicos que são deixados no solo pelas culturas anteriores, levando em conta o tipo de manejo adotado pela produção. A fertilidade do sistema pode ser influenciada pela disponibilidade dos elementos no solo, bem como a ciclagem dos nutrientes, acúmulo de água, estabilidade da temperatura, o que afeta diretamente a produtividade das plantas sob cultivos agrícolas (CARDOSO; ANDREOTE, 2016). Assim, o solo pode ser considerado como matéria viva e não inorgânica e isolada, sendo um ecossistema composto de uma dinâmica complexa, que

depende de fatores bióticos e abióticos do meio, além das relações físicas, químicas e biológicas, que mantém o equilíbrio entre as porções bióticas (plantas, microrganismos e animais) e abióticas (minerais do solo, ar, água nutriente, temperatura) em frações ideais para transformarem os nutrientes disponíveis para absorção por parte das plantas (CARDOSO; ANDREOTE, 2016).

Diante disto, é de extrema importância estudar os processos chaves que estão relacionados à decomposição da MOS e ciclagem dos nutrientes, sendo de grande importância para monitorar, recuperar e manter a qualidade do solo perante o uso da terra (DICK, 1992).

Dentro do levantamento da quantidade de matéria orgânica presente no solo, o carbono orgânico total (COT) constata uma das fontes mais significativas de C presente, sendo usado como ferramenta para determinar quantitativamente a fração orgânica do solo (NELSON; SOMMERS, 1982).

#### 2.4.2 Biomassa Microbiana

A biomassa microbiana (BM) é considerada como a parte viva e ativa do solo, que pode ser utilizada como um importante indicador das alterações nos níveis de nutrientes devido às mudanças no uso do solo (BROOKES, 2001).

A biomassa é um dos constituintes que comandam funções chaves no solo, como o acúmulo e decomposição da MO (JENKINSON; LADD, 1981), portanto, armazenadora de nutrientes, servindo como um indicador sensível e rápido que revela as interferências antrópicas no sistema (GRISI, 1995). Assim torna-se uma medida extremamente essencial para os estudos em microbiologia do solo, pois controla a matéria orgânica presente no meio ambiente, o que regula o fluxo de nutrientes no solo, conseqüentemente a dinâmica dos nutrientes minerais através de processos de imobilização e mineralização (LEITE; ARAÚJO, 2007).

A BM do solo pode ser estabelecida como fração da matéria orgânica formada pelos microrganismos apresentando um volume menor que  $5.10^3 \mu\text{m}^{-3}$ , que engloba organismos dos reinos *Bacteria*, *Fungi*, *Protoctista* e alguns *Animalia*, como os nematoides. Geralmente a BM é representada como micrograma ( $\mu\text{g}$ ) de carbono por grama de solo seco (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). A determinação da biomassa microbiana do solo pode ser feita através da quantificação do carbono orgânico solúvel que é extraído com clorofórmio do material celular dos organismos (VANCE; BROOKES; JENKINSON, 1987).

A avaliação da BM pode ser proposta como indicativo das alterações que podem vir

a ocorrer na matéria orgânica presente no solo, sendo uma medida muito sensível que é capaz de ser detectada com antecedência (TÓTOLA; CHAER, 2002). Através do uso desse bioindicador é possível adotar medidas estratégicas para evitar a perda da matéria orgânica nos solos brasileiros.

#### 2.4.3 Respiração Basal do solo

A respiração basal é um dos indicadores mais antigos de atividade microbiana do solo. Desse modo, reflete a oxidação da MO por organismos aeróbios, aqueles que utilizam de  $O_2$  como acceptor final de elétrons no final da cadeia liberando  $CO_2$  (ANDERSON, 1982).

A taxa de respiração do solo consiste na média de produção de  $CO_2$  resultante da atividade metabólica dos microrganismos, raízes vivas e de microrganismos como minhocas, nematoides e insetos (TÓTOLA; CHAER, 2002). Sua quantificação é feita através da medida do  $O_2$  consumido ou pelo  $CO_2$  liberado do solo, sendo a mais utilizada a determinação do  $CO_2$  liberado, podendo ser mensurado por meio da titulação quando capturado por NaOH (SILVEIRA, 2011).

Existe uma relação direta entre o carbono da biomassa microbiana do solo (CBM) e as taxas que são liberadas de  $CO_2$  pela respiração basal do solo, assim é possível gerar dados que indicam as tendências de estresse que podem ser causados por transtornos antrópicos, tais como o quociente metabólico (ANDERSON; DOMSCH, 1989). O uso deste baseia-se na teoria da respiração da comunidade microbiana, onde o aumento da respiração pode servir como indicativo dos primeiros sinais de estresse, o que pode representar maior desequilíbrio do solo (ODUM, 1985). As medidas da respiração microbiana refletem diretamente na atividade da microbiota do solo e indica a bioatividade do solo (PAUL; CLARK, 1989).

#### 2.4.4 Quociente metabólico ( $qCO_2$ )

O quociente metabólico ( $qCO_2$ ) explica a taxa de respiração por unidade de biomassa (ANDERSON; DOMSCH, 1985). Sendo assim, uma biomassa mais eficiente pode ser aquela que desperdiçaria menos C como  $CO_2$  e absorveria mais C aos tecidos. Em resultados, aquelas amostras que apresentarem menor resultado da taxa de respiração ( $<qCO_2$ ) pode ser considerada mais eficiente. Segundo os mesmos autores, este indicador metabólico dos microrganismos reflete diretamente nas alterações das atividades microbianas logo após um estresse como, por exemplo, o uso de um agroquímico, uma colheita, ou mudança do sistema de manejo do solo.

A quantidade de CO<sub>2</sub> liberada pela respiração dos microrganismos é um dos métodos mais tradicionais e mais utilizados para avaliar a atividade metabólica da população microbiana do solo (ZIBILSKE, 1994). Ademais, a respiração da comunidade microbiana reflete em toda a atividade microbiológica do solo, onde a mesma pode ser aferida pela quantificação de CO<sub>2</sub> liberado resultante da atividade dos microrganismos (GAMA-RODRIGUES, 1999).

Altos valores de atividade respiratória indicam altos índices de atividade biológica e, conseqüentemente, alta taxa de mineralização e decomposição da matéria orgânica do solo, além de indicar níveis de estresse ou de degradação ambiental (TOTÓLA; CHAER, 2002).

#### 2.4.5 Quociente microbiano ( $q_{MIC}$ )

A MO no solo fornece a substrato para a célula microbiana produzir energia necessária, e ao mesmo tempo determina o acúmulo ou perda desse material, que é representado pela relação entre o carbono microbiano e carbono orgânico total (CBM/COT), sendo denominado de quociente microbiano ( $q_{MIC}$ ), ou seja, a quantidade de carbono vivo (GARCIA; COUTO, 1997). Segundo Sparling (1992), o  $q_{MIC}$ , pode ser caracterizado como a qualidade nutricional do material orgânico, que expressa às alterações na qualidade e propriedades biológicas, além de demonstrar valores de mobilização do C da biomassa.

O quociente microbiano é um índice que proporciona indicadores sobre a matéria orgânica, sendo apresentado pela relação entre o C da biomassa microbiana e o C orgânico total encontrado no solo (WARDLE, 1994).

Quando ocorrem condições extremas de estresse, é possível verificar que a capacidade de utilização do C torna-se menor, levando a relação de decréscimo das taxas de  $q_{MIC}$  (WARDLE, 1994). Porém, quando encontra-se uma situação de boa qualidade da MO no solo, é de se observar um acréscimo na biomassa no solo, conseqüentemente aumento do  $q_{MIC}$ , mesmo que os teores de C total estejam inalterados (POWLSON et al., 1987).

### **3 OBJETIVO GERAL**

O presente estudo teve por objetivo verificar as alterações nas características químicas e microbiológicas do solo em diferentes sistemas de produção agrícola, em comparação com mata nativa da mesma área nos períodos de inverno e verão.

#### **3.1 OBJETIVO ESPECÍFICO**

Analisar os parâmetros químicos e microbiológicos do fragmento de mata nativa e das áreas em seu entorno cultivadas com Soja, Milho, Pastagem, Cana-de-açúcar.

Verificar o nível de fertilidade presentes nas áreas nos períodos de inverno e verão.

Indicar a qualidade do solo nas áreas estudadas através dos índices microbiológicos do solo.

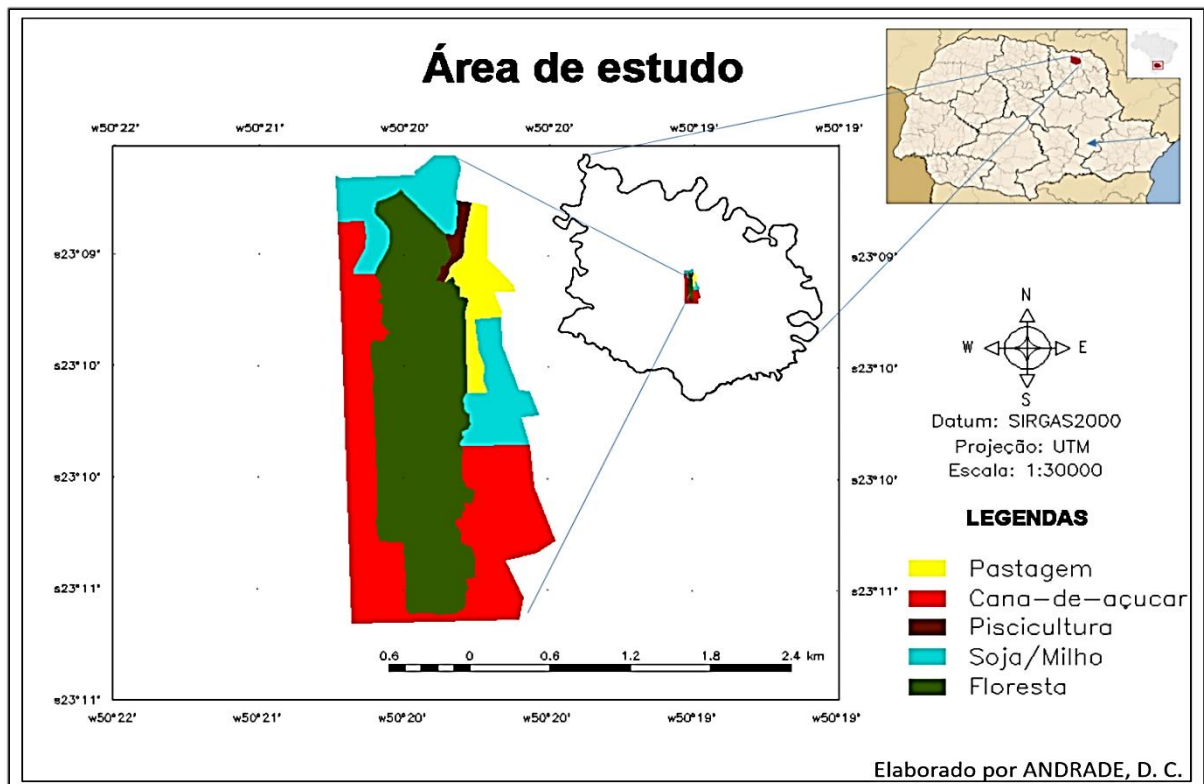
## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 ÁREAS AMOSTRADAS

O estudo foi realizado em fragmento de Mata nativa e nas culturas do entorno, na região do norte do Estado do Paraná, no município de Bandeirantes, que tem como municípios limítrofes: Abatiá, Andirá, Barra do Jacaré, Cornélio Procópio, Itambaracá, Santa Amélia, Santa Mariana e Santo Antônio da Platina, os solos correspondem ao Latossolo Vermelho eutrófico, no entanto, a área de estudo refere-se à associação do Latossolo Roxo eutrófico com textura argilosa e Terra Roxa Estruturada eutrófica, com textura argilosa, que correspondem ao Latossolo Vermelho eutrófico (EMBRAPA, 2013).

O clima da região segundo a classificação de Köppen é Cfa (subtropical úmido), com verão quente e estiagem no inverno. A média anual de precipitação é de aproximadamente 1.400 mm. Com o maior período de volume de chuva entre dezembro, janeiro e fevereiro. E menor período de chuva entre os meses de junho, julho e agosto (BRASIL, 1971).

A amostragem de solos foi realizada em dois períodos, inverno e verão de 2016. As descrições das áreas seguem na tabela 1 e 2 e a localização na figura 1:



**Figura 1.** Área de estudo na região norte do Estado do Paraná e uso do solo no entorno da mata nativa, onde foram realizadas as coletas de solo.

**Tabela 1.** Descrição das áreas amostradas no período de inverno.

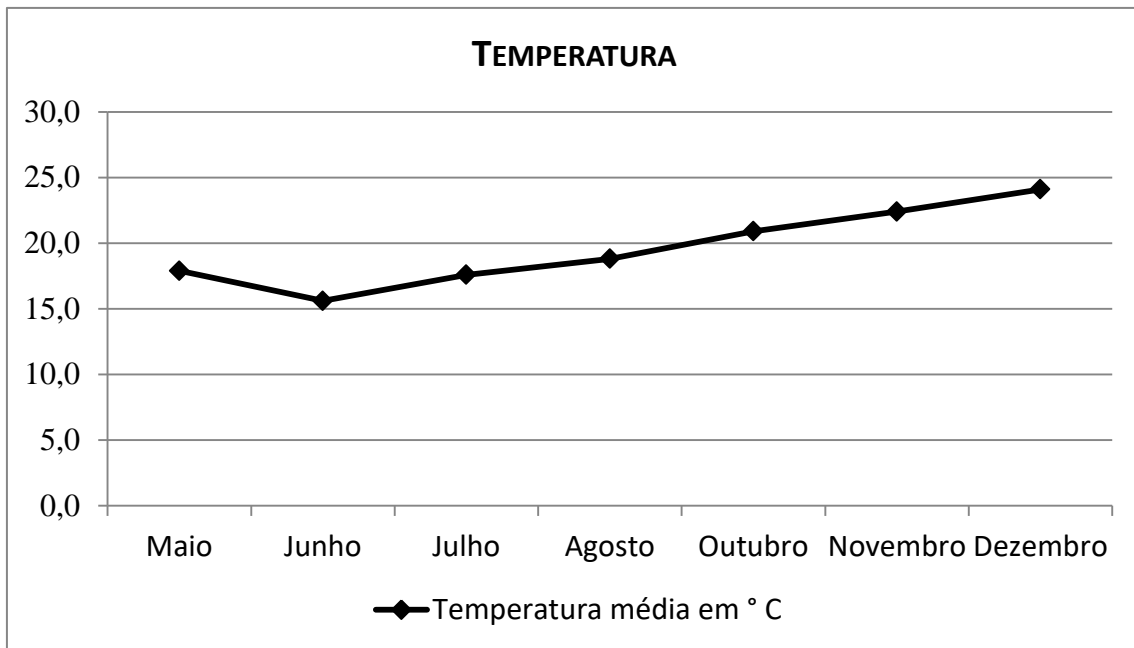
ÁREA	LOCALIZAÇÃO	ÁREA		CULTURAS	MANEJO/ADUBAÇÃO
		TOTAL	COLETADA		
<b>Soja de inverno tardio/ aveia para adubação verde e Soja (verão)</b>	Bandeirantes - PR (23°08'47.79"S e 50°20'25.47"O)	1,54 ha		Soja tardia, ultrapassando o período de inverno para a colheita, espaçamento de 40 cm entre linhas, com uma densidade de sementes de aproximadamente 390.000 ha <sup>-1</sup> . Devido ao atraso da soja, seguindo o plantio de inverno com aveia para adubação verde. Verão, plantio de soja.	- Uma gradagem niveladora - Uma gradagem aradora - Plantio semente BMX potência RR. - Adubação 968 kg ha <sup>-1</sup> (NPK) 0-20-20. - Aplicação fungicida Piori Xtra 300 ml ha <sup>-1</sup> .
<b>Milho (inverno)/Soja (verão)</b>	Bandeirantes - PR (23°08'46.83"S e 50°20'28.07"O)	1,40 ha		Sistema de plantio direto, com cultura do milho no inverno, sendo espaçamento de 45 cm entre linhas e densidade de sementes de 338.800 ha <sup>-1</sup> . Verão, plantio de soja.	- Sistema de plantio direto. - Anterior ao plantio: aplicação de Dualgold (herbicida) 4,84 L ha <sup>-1</sup> . Quinze dias antes do plantio houve aplicação glifosato 12,1 L ha <sup>-1</sup> + 2,4D 4,84 L ha <sup>-1</sup> . - Plantio de semente Balu 280 pro (338.800 ha <sup>-1</sup> ) + NPK (13-9-9) 1.694 kg ha <sup>-1</sup> . Ainda assim, no dia do plantio aplicação gramoxone 200 12,1 L ha <sup>-1</sup> . - Ao longo do crescimento houve aplicação de: Soberan 1,210 L ha <sup>-1</sup> + Atrazina Nortox 12,1 ml ha <sup>-1</sup> + Galil 2,42 L ha <sup>-1</sup> ; Duas aplicações Soberan 968 ml ha <sup>-1</sup> + Atrazina Nortox 9,68 L ha <sup>-1</sup> + Authority 1,210 L ha <sup>-1</sup> .
<b>Cana-de-açúcar (verão/inverno)</b>	Bandeirantes - PR (23°09'12.21"S e 50°20'39.46"O)	1,57 ha		Plantio da cultura de cana-de-açúcar, após três safras consecutivas de soja/milho.	- Subsolação, gradagem - Plantio variedade RB966928 - Adubação NPK (20-5-20).
<b>Pastagem(verão/inverno)</b>	Bandeirantes - PR	1,50 ha		Área de pastagem para gado de corte e equinos. Presente capim mato grosso	- Pastagem perene. - Utilização de adubo NPK (formulação não

	(23°09'11.69"S e 50°19'58.64"O)		( <i>Paspalum notatum</i> ) e em alguns locais braquiária ( <i>Brachiaria decumbens</i> ).	informada pelo produtor rural). - Uso de capim “mato grosso” e “braquiária”.
<b>Mata nativa (Borda 1, divisa soja/milho)</b>	Bandeirantes - PR (23°08'51.90"S e 50°20'29.31"O)	1,40 ha	Sistema em equilíbrio de um fragmento de Mata Atlântica (Floresta Estacional Semidecidual) teoricamente preservada, área de borda da mata de divisa com cultura de soja e milho.	—
<b>Mata nativa (Borda 2, divisa cana-de-açúcar)</b>	Bandeirantes - PR (23°09'13.41"S e 50°20'32.80"O)	1,56 ha	Sistema em equilíbrio de um fragmento de Mata Atlântica (Floresta Estacional Semidecidual) teoricamente preservada, área de borda da mata de divisa com cultura de cana-de-açúcar.	—
<b>Mata Nativa (Reflorestamento)</b>	Bandeirantes - PR (23°09'16.60"S e 50°20'17.14"O)	1,68ha	Sistema em equilíbrio de um fragmento de Mata Atlântica (Floresta Estacional Semidecidual) teoricamente preservada, área de reflorestamento com aproximadamente 50 anos.	Área de reflorestamento com aproximadamente 50 anos que encaminha para um processo de regeneração natural.
<b>Mata Nativa (Área central)</b>	Bandeirantes - PR (23°09'19.64"S e 50°20'28.24"O)	1,61 ha	Sistema em equilíbrio de um fragmento de Mata Atlântica (Floresta Estacional Semidecidual) teoricamente preservada, área central do fragmento de mata nativa.	—

**Tabela 2.** Descrição das áreas amostradas no período de verão.

TIPO DA ÁREA	LOCALIZAÇÃO	ÁREA		CULTURAS	MANEJO/ADUBAÇÃO
		TOTAL	COLETADA		
<b>Soja</b>	Bandeirantes - PR (23°08'47.79"S e 50°20'25.47"O)	1,54 ha		Após a colheita da Soja tardia o produtor fez o plantio de Aveia branca, com a intenção de proteção do solo e produção de palhada para uma posterior adubação verde para a cultura sucessora (Soja), a densidade das sementes foi de aproximadamente 300 a 450 sementes m <sup>-2</sup> . Após a colheita da cultura foi dado início a safra de verão 2016/2017. Plantio de aproximadamente 400.000 ha <sup>-1</sup> de sementes.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Após a colheita da aveia branca (informações da variedade não foi disponível pelo agricultor), foi iniciado o plantio de verão.</li> <li>- Sistema de plantio direto</li> <li>- Anterior ao plantio aplicação de herbicida glifosato 19,36 L ha<sup>-1</sup>.</li> <li>- Plantio semente BMX potência RR.</li> <li>- Adubação de 150 kg ha<sup>-1</sup> de Super Simples (16 a 18% de pentóxido de fósforo e 18 a 20% de cálcio).</li> <li>- Adubação 100 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio (60% de potássio).</li> <li>- Aplicação de herbicida glifosato 16,94 L ha<sup>-1</sup> na fase V4-V5 da cultura.</li> </ul>
<b>Milho (inverno)/Soja (verão)</b>	Bandeirantes - PR (23°08'46.83"S e 50°20'28.07"O)	1,40 ha		Sistema de plantio direto, com cultura de Soja no verão, sendo o espaçamento de 45 cm entre linhas e densidade de 13 plantas por metro quadrado para a safra 2016/2017.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anterior ao plantio: aplicação de Glifosato (herbicida) 16,94 L ha<sup>-1</sup>.</li> <li>- Aplicação Heat 363 g ha<sup>-1</sup>, aplicação de Verdict 7,26 L ha<sup>-1</sup> e Óleo mineral (AUREO) 7,26 L ha<sup>-1</sup>.</li> <li>- Sistema de plantio direto</li> <li>- Plantio de sementes MONSOY M 6210 IPRO.</li> <li>- Adubação de NPK (2-20-18), 1.452 kg ha<sup>-1</sup></li> <li>- Aplicação de fungicida Relapso 1,210 kg ha<sup>-1</sup>.</li> </ul>
<b>Cana-de-açúcar (verão/inverno)</b>	Bandeirantes - PR (23°09'12.21"S e 50°20'39.46"O)	1,57 ha		Crescimento do Segundo corte da cultura de cana-de-açúcar, após três safras consecutivas de soja/milho.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cultura seguindo para o Segundo corte.</li> <li>- Variedade RB966928</li> <li>- Adubação depois do primeiro corte com</li> </ul>

				CALSITE 400 kg ha <sup>-1</sup> .
<b>Pastagem (verão/inverno)</b>	Bandeirantes - PR (23°09'11.69"S e 50°19'58.64"O)	1,50 ha	Área de pastagem para gado de corte e equinos. Presente capim mato grosso ( <i>Paspalum notatum</i> ) e em alguns locais braquiária ( <i>Brachiaria decumbens</i> ).	- Pastagem perene. - Uso de capim “mato grosso” e “braquiária”. - Não houve adubação no período de verão.
<b>Mata nativa (Borda 1, divisa soja/milho)</b>	Bandeirantes - PR (23°08'51.90"S e 50°20'29.31"O)	1,40 ha	Sistema em equilíbrio de um fragmento de Mata Atlântica (Floresta Estacional Semidecidual) teoricamente preservada, área de borda da mata de divisa com cultura de soja e milho.	—
<b>Mata nativa (Borda 2, divisa cana-de-açúcar)</b>	Bandeirantes - PR (23°09'13.41"S e 50°20'32.80"O)	1,56 ha	Sistema em equilíbrio de um fragmento de Mata Atlântica (Floresta Estacional Semidecidual) teoricamente preservada, área de borda da mata de divisa com cultura de cana-de-açúcar.	—
<b>Mata Nativa (Reflorestamento)</b>	Bandeirantes - PR (23°09'16.60"S e 50°20'17.14"O)	1,68ha	Sistema em equilíbrio de um fragmento de Mata Atlântica (Floresta Estacional Semidecidual) teoricamente preservada, área de reflorestamento aproximadamente 50 anos.	Área de reflorestamento com aproximadamente 50 anos que encaminha para um processo de regeneração natural.
<b>Mata Nativa (Área central)</b>	Bandeirantes - PR (23°09'19.64"S e 50°20'28.24"O)	1,61 ha	Área central do fragmento de Mata Atlântica (Floresta Estacional Semidecidual).	—



**Figura 2.** Temperatura média nos meses de coleta de solo. Fonte: IAPAR.

#### 4.2 AMOSTRAGEM DOS SOLOS

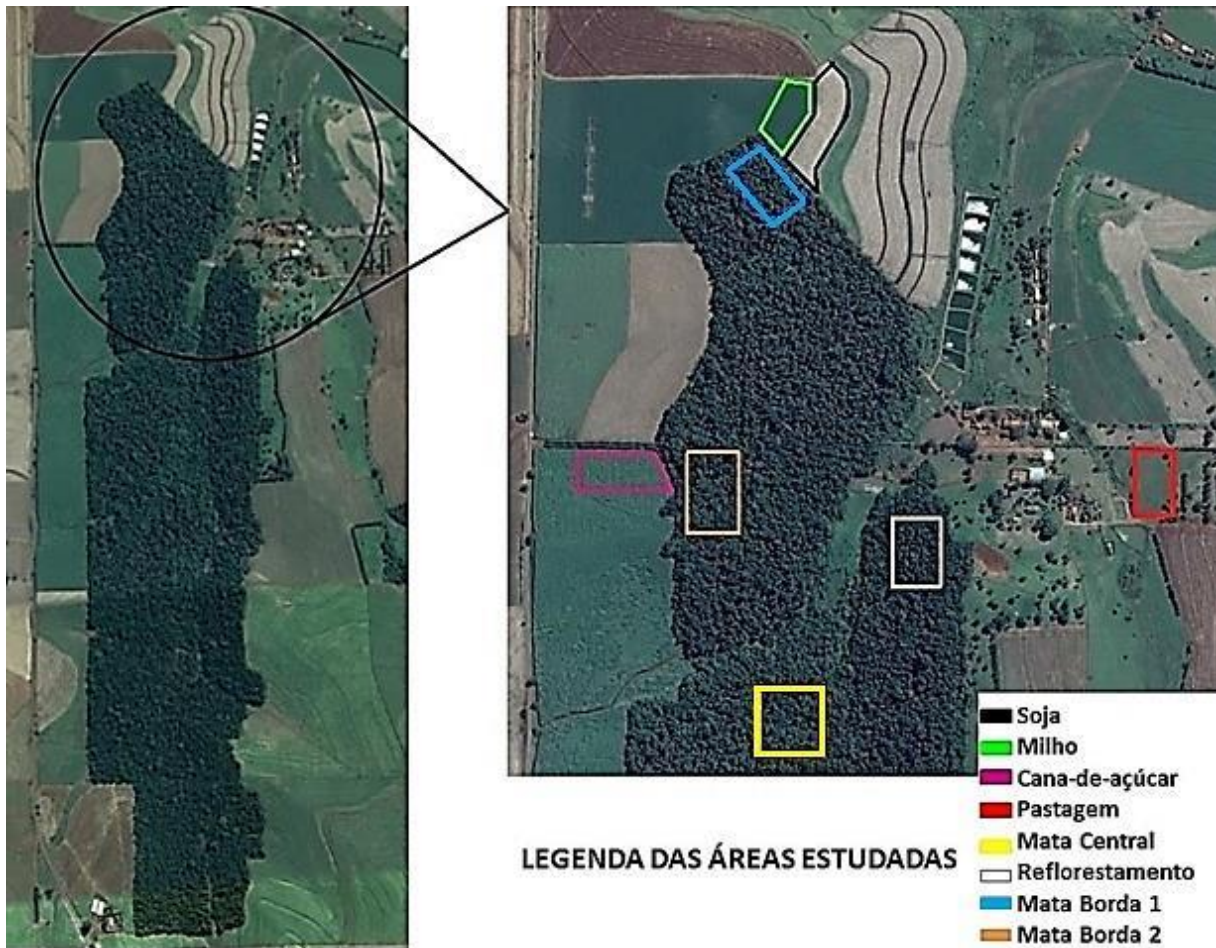
As amostras de solo foram coletadas com trado holandês (**Figura 2**), compondo 20 amostras simples na profundidade de 0 – 10 cm e 10 – 20 cm, foram homogeneizadas para formarem uma amostra composta. As coletas foram de maneira inteiramente casualizada, com cinco repetições por área. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos para manterem as propriedades biológicas. No laboratório o material foi peneirado em malha de 2 mm e mantida em geladeira (temperatura de 4 °C) até serem analisadas. As coletas de inverno foram realizadas entre maio e agosto e de verão entre outubro e dezembro, sendo 80 amostras em cada período, totalizando 160 amostragens. As amostras coletadas na cultura da soja e cana-de-açúcar foram feitas logo após colheita das mesmas, já na área de milho as plantas estavam em estágios fenológico Vn/R1 no inverno. Nas áreas de mata nativa, foram coletadas amostras em quatro locais diferentes (**Figura 4**). No plantio de verão as amostras coletadas na cultura da soja estavam em fase Vn (último nó com trifólio aberto, antes da floração), soja/milho em fase Vn/R1 (início do florescimento, com flor aberta em qualquer nó do caule), cana-de-açúcar seguindo para o crescimento de segundo corte e a pastagem se mantém a mesma com alternâncias de pastejo de gado e cavalos.



**Figura 3.** Coleta de solo com trado holandês em uma das áreas de estudo (mata nativa).



**Figura 4.** Imagem Aerofotografia da área de estudo em 1965. Fonte: Instituto Brasileiro do Café.



**Figura 5.** Imagem de satélite atual da área de estudo e áreas coletadas. Fonte: Google maps.

#### 4.3 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE RELATIVA DO SOLO

A umidade do solo pode ser definida como a água contida em uma amostra de solo, onde se divide a umidade pela massa seca do solo, sendo expressa em quilogramas de solo. Para determinação do peso, foi realizado através da secagem em estufa, na qual a amostra é mantida a temperatura de 105°C, até que expresse o peso constante (EMBRAPA, 1997).

A umidade é determinada pela diferença entre o peso da amostra e o peso seco da mesma. Sendo assim temos a equação 1:

$$U = \frac{(P_u - P_s)}{P_s} \quad (1)$$

Em que:

U - g de água g<sup>-1</sup> de solo;

P<sub>u</sub> - peso do solo úmido;

P<sub>s</sub> - peso do solo seco.

#### 4.4 ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO

As análises químicas foram realizadas no laboratório de fertilidade do solo na Universidade Estadual do Norte do Paraná, Campus Luiz Meneghel, no período de inverno e verão por todas as áreas descritas. Foram coletadas 20 sub-amostras aleatórias para formar uma amostra composta contendo cinco repetições para cada área estudada. As mesmas foram secas ao ar em temperatura ambiente e passadas em peneira de 2 mm (TFSA) para posterior análises.

##### 4.4.1 Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH reflete diretamente em diversas reações que ocorrem no sistema solo-planta (MEHLICH, 1948). O princípio que ocorre é a medição da variação do potencial sob eletrodo de vidro pela alteração da atividade hidrogeniônica da solução (CAMARGO et al. 2009).

O procedimento analítico deu-se por copo de plástico de 100 mL, onde foi inserido 10 mL de solo e adicionado 25 mL de líquido  $\text{CaCl}_2$  0,01 M, seguido da agitação e repouso por uma hora para posterior aferição do potencial higroneônico do solo. (EMBRAPA, 2011).

##### 4.4.2 Determinação da capacidade de troca de cátions do solo (CTC)

A capacidade de troca catiônica (CTC) está ligada a habilidade do solo em manter e trocar os íons positivamente carregados na superfície dos coloides que podem estar prontamente disponíveis para a assimilação das plantas, sendo uma das propriedades de extrema importância na análise físico-química do solo. A determinação pode ser feita por meio da soma de bases trocáveis por acidez extraída por solução tampão a pH 7,0 (CAMARGO et al. 2009).

Para o procedimento analítico pode ser feito pelo método do KCl (cloreto de potássio)  $1 \text{ mol L}^{-1}$ , onde são pesados 7,5 g de solo e adicionados em erlenmeyer de 250 mL e adicionado 150 mL de solução de KCl a  $1 \text{ mol L}^{-1}$ , seguido da agitação por movimentos circulares, deixando as amostras em repouso de 12 a 16 horas para decantação. Logo após o período de repouso, pipetar em erlenmeyer de 250 mL alíquotas de 50 mL da parte sobrenadante da solução para determinar alumínio extraível, cálcio + magnésio e cálcio trocáveis. (EMBRAPA, 2011).

#### 4.4.3 Alumínio trocável

A extração é feita com solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup> e determinado com solução diluída de NaOH. Com uma das alíquotas de 50 mL de sobrenadante retirada da extração de KCl adiciona-se 3 gotas de fenolftaleína seguida da titulação com solução de NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup>, até a mudança de cor de branco para rosa (EMBRAPA, 2011). Para o cálculo, equação 3:

$$\text{Al}^{3+} \text{ trocável (cmol}_c\text{/kg)} = \text{mL NaOH} \quad (3)$$

#### 4.4.4 Cálcio e magnésio trocáveis

O princípio consiste do uso do sobrenadante da extração de KCl 1 mol L<sup>-1</sup> seguido de determinação com indicador negro de eriochromo e calcon. Para o procedimento é utilizado erlenmeyer de 250 mL e adicionado 6,5 mL de coquetel tampão e 4 gotas de indicador negro de eriochromo, seguido da titulação com solução de EDTA (ácido etilenodiamino tetraacético) 0,0125 mol L<sup>-1</sup> até a viragem da coloração de roxo para azul (perante esta titulação são determinado em conjunto Ca<sup>+</sup> e Mg<sup>+</sup>), sendo anotado o volume gasto de EDTA (EMBRAPA, 2011). Seguindo o cálculo utilizado a equação 4:

$$\text{Ca}^+ + \text{Mg}^+ \text{ (cmol}_c\text{/kg)} = \text{mL EDTA} \quad (4)$$

#### 4.4.5 Cálcio trocável

Segue o princípio de extração com solução de KCl a 1 mol L<sup>-1</sup>, onde são adicionados 50 mL do sobrenadante seguido da adição de 2 mL de trietanolamina 50%, 2 mL de KOH a 10%, com indicador calcon. Logo é feita titulação com solução EDTA 0,0125 mol L<sup>-1</sup> até a viragem de cor rósea para roxa ou azul, assim é anotado o volume gasto de EDTA (EMBRAPA, 2011). Cálculo, seguindo equação 5:

$$\text{Ca}^+ \text{ (cmol}_c\text{/kg)} = \text{mL EDTA} \quad (5)$$

#### 4.4.6 Magnésio trocável

Para determinação de magnésio é feito pela diferença entre os valores de Ca<sup>+</sup> + Mg<sup>+</sup> e Ca<sup>+</sup> (EMBRAPA, 2011).

#### 4.4.7 Saturação por bases

A saturação por bases retrata a ação das bases trocáveis em relação ao total de cátions complexos. O valor de saturação é utilizado para caracterizar solos distróficos e eutróficos (EMBRAPA, 2011). Cálculo, seguindo equação 6:

$$V\% = \frac{100 \cdot \text{valor S}}{\text{valor T}} \quad (6)$$

Sendo:

V = saturação de bases em porcentagem;

S (cmol<sub>c</sub>/kg) = Ca<sup>+</sup> + Mg<sup>+</sup> + K<sup>+</sup>;

T = capacidade de troca catiônica (CTC).

#### 4.4.8 Soma de bases

A soma de bases trocáveis (SB) de um solo representa a soma dos teores de cátions permutáveis, exceto H<sup>+</sup> e Al<sup>3+</sup> (SB = Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> + K<sup>+</sup>) (EMBRAPA, 2011). Cálculo, seguindo a equação 7:

$$\text{Valor S (cmol /kg)} = \text{Ca}^+ + \text{Mg}^+ + \text{K}^+ \quad (7)$$

Sendo:

S = soma de bases trocáveis (cmol<sub>c</sub>/kg);

Ca<sup>+</sup> = cálcio trocável

Mg<sup>+</sup> = magnésio trocável

K<sup>+</sup> = potássio trocável

#### 4.4.9 Acidez trocável (H+Al)

Este tipo de acidez envolve aquela que ocorre através da hidrólise do Al<sup>3+</sup> pelo íon de hidrogênio trocável em solução. Este valor é pequeno ao pH que normalmente se dispõem ao encontrado no solo (COULTER, 1969), sendo que, o determinado é o alumínio trocável. Na acidez trocável, a fundamentação está em concentrações relativamente altas, sendo que o

potássio desloca como principal os íons de alumínio do solo para a solução, que ao se hidrolisarem liberam íons de hidrogênio que podem ser mensurados (CAMARGO et al. 2009).

Procedimento através do método por KCl, colocando 10 g de solo em erlenmeyer de 125 mL e adicionado 50 mL de KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, agitar manualmente e deixar em repouso por meia hora, seguido da filtragem em papel filtro Whatman n° 42 de 5,5 cm de diâmetro e adição de duas porções de 10 mL de KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. Adiciona-se 6 gotas de fenolftaleína 0,1 % e titular com NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> até a coloração se tornar róseo (EMBRAPA, 2011).

Equação 8:

$$\text{Acidez trocável (cmol}_c\text{/kg)} = \frac{\mathbf{V \cdot M \cdot 100}}{\mathbf{p}} \quad (8)$$

Sendo:

V = volume de NaOH gastos na titulação em mL;

M = molaridade do NaOH;

p = peso da amostra em gramas.

#### 4.4.10 Acidez potencial

A acidez potencial é estabelecida através dos íons H<sup>+</sup> e Al<sup>3+</sup> que são presentes no solo, que pode ser avaliada por extrações com soluções de sais tampões ou misturas de sais neutros com soluções tampão (PEECH, 1965). Pode ser definida como acidez hidrolítica, a mesma é mensurada pela quantidade de base necessária para aumentar o pH ao valor de 7,0. Sendo que a acidez potencial, é aferida pela diferença entre o nível inicial (pH do solo) e final (7,0) do pH (CAMARGO et al. 2009).

A acidez potencial do solo pode ser quantificada pela extração de solução tamponada de acetato de cálcio 1 mol L<sup>-1</sup> pH 7,0. Sendo denominada acidez extraível, e às vezes é confundida como acidez trocável. É empregada para o cálculo da CTC do solo, corresponde à soma das bases + acidez potencial (EMBRAPA, 2011).

#### 4.4.11 Potássio

O Potássio é um dos nutrientes mais essenciais envolvido em inúmeras funções vitais das plantas ao longo de seu desenvolvimento, como, respiração, fotossíntese, também é

importante no metabolismo dos carboidratos, do nitrogênio, na síntese de proteína, na atividade de enzimática, no crescimento de tecidos meristemáticos, nos movimentos estomáticos e nas relações hídricas (GOMES; PAIVA, 2004).

Para análise de determinação da concentração do potássio no solo, foi utilizado o extrator Mehlich-1 (HCl 0,05 N + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 N), segundo a metodologia da EMBRAPA, (1997). Seguido da agitação das amostras e descanso por 12 a 16 horas. A partir do extrato obtido foram feitas as determinações do K, por fotômetro de chama (MALAVOLTA et al., 1997).

#### 4.4.12 Fósforo

O fósforo é quantificado por meio do total presente no solo, o que corresponde ao teor utilizado pelas plantas. É feita pelo complexo fósforo-molibdico de cor azul pela obtenção após a redução do molibdato com ácido ascórbico e determinação por espectrofotômetro sob comprimento de onda de 660 mμ.

Para o procedimento analítico é feito colocando-se 5 g de solo em erlenmeyer de 125 mL, adicionando 50 mL de solução extratora Mehlich<sup>-1</sup> (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>). Agitar por 5 minutos e deixar decantar de 12 a 16 horas, pipetar 5 mL do extrato sobrenadante em erlenmeyer 125 mL, e deixar o restante para determinação de K. Logo após a retirada do sobrenadante adicionar 10 mL de solução de molibdato de amônio diluída e 30 mg de ácido ascórbico em pó. Agitar por 2 minutos, seguido de descanso de 1 hora para obtenção da coloração das amostras. Posteriormente, fazer leitura em espectrofotômetro 660 mμ (EMBRAPA, 2011).

#### 4.5 DETERMINAÇÃO DO CARBONO DE BIOMASSA MICROBIANA

Para a determinação do carbono de biomassa microbiana do solo (CBM), foi utilizado o método proposto por Vance et al. (1987), através da fumigação-extração das amostras. As amostras foram pesadas (20 g de solo) em duplicadas (sendo uma para fumigação e outra para não fumigação) e corrigidas a umidade a 60% da capacidade de campo, acondicionadas em frascos de vidros "*snap cap*". Para o tratamento de fumigação, os frascos foram levados ao dessecador com um béquer contendo 50 mL de clorofórmio isento de etanol (CHCl<sub>3</sub>) no centro do dessecador, este processo promoverá o rompimento das membranas dos microrganismos para liberação do seu conteúdo celular ao meio. O segundo parâmetro de amostras não houve fumigação e colocadas em local escuro por 24 horas.

Posteriormente o dessecador foi submetido à vácuo por 4 minutos e incubado no escuro por 24 horas. Após o período de incubação o dessecador foi aberto e aplicado 4 minutos de sucção a vácuo para aeração e eliminação do excesso de clorofórmio. Em seguida, foi feita a extração do CBM pela adição de 50 mL da solução de  $K_2SO_4$  0,5 M nas amostras e as mesmas foram colocadas sob agitação de 175 rpm por 50 minutos e em seguida filtrados em papel quantitativo para obtenção do extrato do solo.

Para a determinação do carbono de biomassa microbiana do solo foi realizada a partir do método de titulometria (WALKLEY; BLACK, 1934), sendo modificado por TEDESCO et al., (1995), 4 mL do sobrenadante filtrado foi acondicionado em erlenmeyers de 250 mL, e adicionado 1 mL de solução de dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ ) 0,066 M e 10 mL ácido sulfúrico concentrado ( $H_2SO_4$ ) P.A., após resfriamento foram acrescentados 70 mL de água, 5 mL de ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) e 4 gotas de difenilamina (indicador) seguido da titulação com sulfato ferroso amoniacal [ $(NH_4)_2 Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ]. a 0,033 M.

Este método é baseado na oxidação do carbono (C) orgânico a  $CO_2$  e  $H_2O$  por íon de dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ ) 0,066 M em meio forte ácido. Nesta reação descrita, o dicromato é considerado o consumidor equivalente ao C presente na amostra, e o excesso de dicromato que não foi gasto é titulado com a solução padrão de sulfato ferroso amoniacal [ $(NH_4)_2 Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ] (**Figura 6**).

A determinação do carbono obtido dos extratos fumigados e não fumigados foi calculado a partir da seguinte equação 9:

$$C \text{ (mg C kg}^{-1} \text{ solo)} = \frac{(V_b - V_a) \cdot M \cdot 0,003 \cdot V_1 \cdot 10^6}{P_s \cdot V_2} \quad (9)$$

Em que:

C - carbono extraído do solo;

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

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

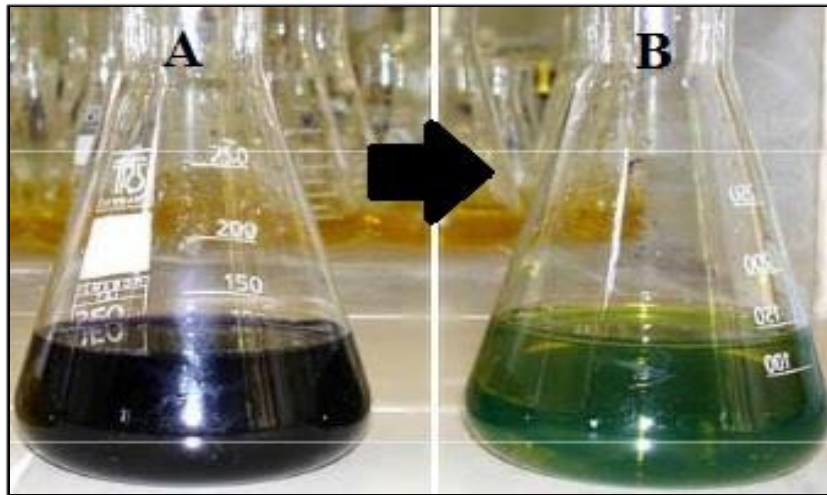
M - molaridade do sulfato ferroso amoniacal;

$V_1$  - volume do extrator ( $K_2SO_4$ ) usado (mL);

$V_2$  - alíquota pipetada do extrato para a titulação (mL);

0,003 - miliequivalente de carbono;

$P_s$  - massa de solo seco (g).



**Figura 6.** Ponto estequiométrico de oxirredução, ao final da titulação, a coloração da solução irá do púrpuro (A) para o verde (B) (SILVA et al., 2007b).

Os valores de carbono de biomassa microbiana são obtidos através da subtração entre os teores de carbono do solo fumigado e não fumigado, sendo calculado conforme a equação 10:

$$CBM = FC \cdot kc^{-1} \quad (10)$$

Em que:

CBM - carbono da biomassa microbiana do solo (mg de C kg<sup>-1</sup> de solo);

FC - fluxo obtido da diferença entre a quantidade de C (mg kg<sup>-1</sup> solo) da equação 2, recuperada no extrato da amostra fumigada e na amostra não fumigada;

kc - fator de correção (0,33), proposto por Sparling; West (1988).

#### 4.6 DETERMINAÇÃO DA RESPIRAÇÃO BASAL DO SOLO

A respiração do solo foi conduzido pela pesagem de 50 g de solo, onde as amostras foram acondicionadas em frascos de vidros "*snap cap*" e incubadas em frascos de vidro de 2 L, junto com um frasco contendo 10 mL de NaOH 1 M utilizado como solução receptora, sendo fechados hermeticamente. Em conjunto com as amostras foram incubadas também, três amostras controle (branco), contendo apenas um frasco "*snap cap*" com 10 mL de NaOH e colocadas em frascos de vidro de 2 L. As amostras foram mantidas em câmara isenta de luminosidade e com temperatura ambiente, variando entre 25 a 28°C, por 5 a 10 dias.

Após o período de incubação os frascos contendo NaOH foram retirados e

adicionados 2 mL de  $\text{BaCl}_2$  10% (m/v) para a completa precipitação do  $\text{CO}_2$ , seguido da adição de duas gotas de fenolftaleína 1% (m/v) para a titulação com solução de ácido clorídrico (HCl) 0,5 M (**Figura 7**).

A respiração basal do solo (RBS) foi quantificada através do  $\text{CO}_2$  (dióxido de carbono) liberado ao longo do período de incubação do solo em câmara fechada, onde o  $\text{CO}_2$  é capturado pela solução de NaOH (hidróxido de sódio) a  $0,05 \text{ mol L}^{-1}$  e seguidamente titulado com HCl (ácido clorídrico) (ISERMEYER, 1952).

O cálculo da RBS foi realizado a partir da equação 11:

$$\text{RBS} = \frac{((V_b - V_a) \cdot M \cdot 6 \cdot 1000)}{Ps} \cdot T \quad (11)$$

Em que:

RBS - carbono proveniente da respiração basal do solo ( $\text{mg de C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ solo hora}^{-1}$ );

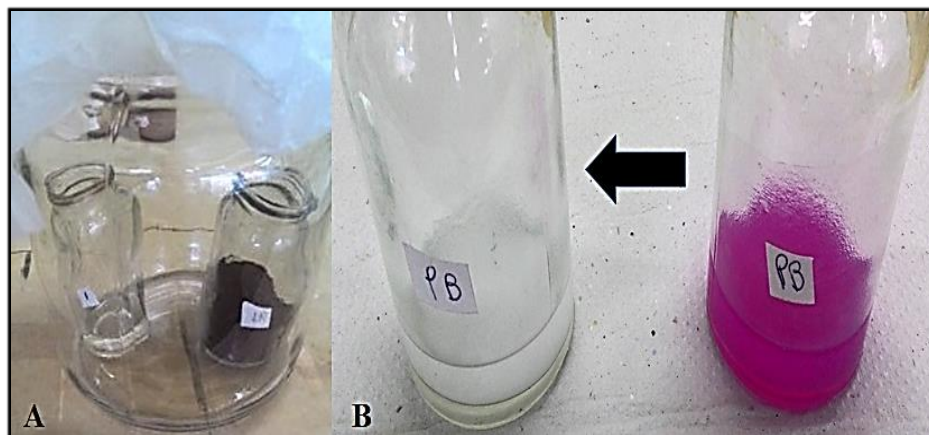
$V_b$  - volume de solução de HCl consumido na titulação da solução controle (branco) (mL);

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

M - molaridade da solução de HCl;

Ps - massa de solo seco (g);

T - tempo de incubação da amostra (em horas).



**Figura 7.** A Figura A apresenta o frasco utilizado para incubação da Respiração Basal do solo, juntamente com amostra de solo e seu respectiva frasco contendo NaOH. A Figura B, demonstra o ponto estequiométrico de neutralização do ácido-base, aonde ao final da titulação, a coloração irá do róseo para branco.

#### 4.7 DETERMINAÇÃO DO QUOCIENTE METABÓLICO DO SOLO

A partir dos resultados de Respiração Basal do Solo (RBS) e do teor de Carbono da biomassa microbiana (CBM) calcula-se o quociente metabólico ( $qCO_2$ ), conforme proposto por Anderson; Domsch (1993). Por meio da equação 12:

$$qCO_2 = \frac{RBS}{CBM - C \text{ (mg de C kg}^{-1} \text{ de solo)} \cdot 10^{-3}} \quad (12)$$

Em que:

$qCO_2$  – quociente metabólico do solo ( $mgC-CO_2 \cdot g^{-1}CBM-C \cdot h^{-1}$ );

RBS – respiração basal do solo;

C-BMS – carbono da biomassa microbiana do solo.

#### 4.8 DETERMINAÇÃO DO CARBONO ORGÂNICO TOTAL DO SOLO (COT)

O método utilizado para o ensaio do COT foi feito pela reação de combustão da matéria orgânica via úmida, proposto por Walkley; Black (1934), modificado por Tedesco et. al. (1995), pelo método volumétrico do dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ ) e seguido da titulação pelo sulfato ferroso ( $FeSO_4$ ) para determinação do carbono orgânico total da amostra, partindo da premissa que o conteúdo de matéria orgânica no solo (MOS) possui a média de 58% de C, é dado pela equação 13:

$$MOS = C \cdot 1,74 \quad (6)$$

Em que:

MOS = matéria orgânica do solo ( $g \text{ kg}^{-1} \text{ solo}$ );

C = carbono disponível;

1,74 = constante de Van Bemmelen (SATO, 2013).

#### 4.9 DETERMINAÇÃO DO QUOCIENTE MICROBIANO DO SOLO ( $qMIC$ )

O quociente microbiano ( $qMIC$ ) é obtido por meio da relação entre o CBM e o conteúdo matéria orgânica total no solo. O  $qMIC$  segundo Wardle; Hungria (1994), é expresso em porcentagem (%) de  $CBM/COT$ , é dado pela equação 14:

$$q_{\text{MIC}} = \frac{\text{CBM} - \text{C} / 1000}{\text{COT}} \cdot 100 \quad (14)$$

Em que:

$q_{\text{MIC}}$  – quociente microbiano do solo (%);

C-BMS – carbono da biomassa microbiana do solo (mg de C kg<sup>-1</sup> de solo);

COT – carbono orgânico total do solo (g kg<sup>-1</sup> solo).

#### 4.10 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, arranjos em um esquema fatorial 8 x 2, sendo oito sistemas de manejo do solo (**Tabela 1**), em dois períodos (inverno e verão) de amostragem, com cinco repetições para cada tratamento. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey (p<0,05). Os atributos químicos e microbiológicos foram submetidos à análise multivariada por componentes principais separadamente através do software R.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 ANÁLISES COMPARATIVAS DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS

A matéria orgânica do solo (MOS), sendo representada pelo Carbono Orgânico Total (COT) foi mais expressiva nas áreas de vegetação nativa, tanto no período de inverno como verão, fato observado em ambas as profundidades amostradas no estudo, já as demais áreas: soja, milho, cana-de-açúcar e pastagem apresentaram quantidade inferior de matéria orgânica quando comparado à mata (**Tabela 3, Figura 8 e 9**). Neste caso, foi possível notar que COT encontra-se preservada, isso se dá por ser ciclada constantemente pela diversidade de espécies edáficas.

Os teores de COT presentes no solo na profundidade 0 – 10 e 10 – 20 cm sob as áreas de fragmento florestal foram maiores na profundidade superior no período de inverno, entre 21,8 a 23,5 (g kg<sup>-1</sup>) e no verão de 28,3 a 33,8 (g kg<sup>-1</sup>); o mesmo foi observado na camada mais profunda (10 – 20 cm), na qual não houve diferença significativa nas épocas estudadas, sendo que as áreas de mata os níveis de COT ficaram entre 19,9 a 23,3 (g kg<sup>-1</sup>) em relação às áreas de soja 13,4 a 15,4 (g kg<sup>-1</sup>), milho 15,2 a 18,7 (g kg<sup>-1</sup>), cana-de-açúcar 14,1 a 16,5 (g kg<sup>-1</sup>) e pastagem 14,6 a 16,9 (g kg<sup>-1</sup>), fato esperado, visto que é na camada superficial que a microbiota se estabelece e é mais intensa e influente.

Resultados similares foram encontrados por Pavelhão (2016) estudando diferentes áreas de agricultura, como cana-de-açúcar, soja/milho no município de Bandeirantes – PR em locais próximos as áreas do presente estudo, inclusive na mesma mata nativa. Nestes foram constatados diferenças significativas dos teores de MOS entre os cultivos e vegetação na profundidade de 0 – 20 cm, sendo valor de COT respectivo à mata de aproximadamente 20,1 g kg<sup>-1</sup>, corroborando com os obtidos no presente estudo. Segundo o mesmo autor, esses resultados podem estar associados ao tipo de preparo convencional por longos períodos, sendo que há revolvimento do solo e exposição do COT acelerando sua mineralização. Isso possibilita o aumento da temperatura superficial do solo, e o contato direto com oxigênio proveniente da atmosfera que determina o aumento das taxas de oxidação da MOS desfavorecendo a atividade biológica. Essa situação pode ser observada na cultura da soja, que teve os menores teores de COT entre os sistemas e profundidade estudadas.

Então, a MOS age diretamente na comunidade, atividade e a diversidade edáfica do solo (BAYER; MIELNICZUK, 2008), condicionando maior retenção de cátions, sendo fundamental sua análise para verificar a qualidade do solo.

No caso das áreas de agricultura, os baixos valores de COT (**Tabela 3**) podem estar

relacionados com declínio da taxa de MO, devido a alguns fatores que aceleram os processos de mineralização que são relacionados às condições de manejo do solo, sendo capaz de promover a quebra de agregados, expondo a MOS ao ataque dos microrganismos (RESCK et al., 1991). Bem como a baixa adição de carbono orgânico e aumento de processos erosivos em comparação com áreas de vegetação nativa (ANGERS et al., 1992).

O tipo de vegetação estabelecida e as condições ambientais apresentadas são condições que determinam a qualidade e quantidade de material que irá ser depositado no solo ao longo do tempo, que influencia na diversidade da microbiota, conseqüentemente na taxa de decomposição do material orgânico no solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Souza et al. (2006); Hickmann; Costa, (2012); Freitas et al. (2017) encontraram maiores teores de C orgânico em regiões de floresta nativa, quando comparados à áreas de agricultura convencional, plantio direto, cana-de-açúcar e pastagem. Sendo assim, os métodos utilizados para o manejo do solo estão diretamente relacionados com a entrada e saída do C nos sistemas de cultivo, principalmente em áreas agrícolas que são influenciadas pelo preparo do solo, adubação e manejo dos restos culturais. (COSER et al., 2016; CAMPOS et al., 2011).

É importante salientar a influência da matéria orgânica, Novais et al. (2007) relatam que uma das funções básica da MOS é favorecer os processos biológicos do solo, onde irá induzir outras propriedades e processos do solo, como, manutenção do metabolismo. Essa manutenção está relacionada, à fixação do C atmosférico pela fotossíntese e liberação de compostos orgânicos via raízes. Desse modo, diversos compostos orgânicos podem entrar no solo, os quais servem de substrato para os microrganismos, sendo um processo chave na manutenção da ciclagem de nutrientes. Tais resultados encontrados, possivelmente ocorrem devido à maior diversificação e taxa de deposição de resíduos na floresta, que colabora para o maior estoque de COT no solo (TORRES, 2011).

No atributo COT pode-se observar que no período de verão para as áreas de floresta, os valores foram bem superiores ao período de inverno (**Tabela 3**), o que pode ser influenciado pela temperatura. Segundo Mota (1989), a temperatura do solo, pode induzir fortemente o desenvolvimento e crescimento vegetal, uma vez que, pode afetar as funções essenciais do solo: química, física e biológica e conseqüentemente o poder produtivo das culturas e sua distribuição no solo.

Referente aos níveis de pH encontrados neste estudo (**Tabela 3**) foi considerável a diferença encontrada entre as áreas e períodos, sendo que independentemente da profundidade analisada e períodos estudados, as áreas florestais (Mata Centro, Reflorestamento, Borda 1 e Borda 2) obtiveram maiores valores quando comparadas as áreas de produção agrícola (Soja, Milho, Cana e Pastagem). Resultados parecidos foram encontrados por Pavelhão (2016),

estudando o mesmo fragmento florestal, que encontrou valores de 7,3 (pH em H<sub>2</sub>O) e 6,7 (pH em KCl) na profundidade de 0 a 20 cm. Os valores obtidos nas áreas de agricultura podem estar relacionados com algumas atividades humana, no qual, em diversas regiões podem ser encontrados níveis ácidos nos solos, em decorrência à atividade agrícola, devido à aplicação de excessivas doses de fertilizantes químicos (RENGEL; ZHANG, 2003).

Os valores de pH (CaCl<sub>2</sub>) obtidos neste estudo na camada superior para as áreas de mata foram entre 6,11 a 6,78 no inverno e 6,67 a 6,96 no verão. Na camada inferior os valores obtidos foram próximos aos valores de 0 a 10 cm como apresentado na Tabela 3. As áreas de agricultura apresentaram valores mais ácidos, independentes da camada e períodos observados, sendo: 0 – 10 cm, valores de 4,94 a 5,65 inverno e 5,09 a 5,71 verão. O menor valor obtido foi para cultura do milho, sendo 4,94, considerado nível de acidez alta, fato que pode estar associado à aplicação de insumos agrícolas, como herbicida e fungicida que foram aplicados na cultura. Os valores de pH obtidos nas áreas agrícolas são considerados agronomicamente como acidez média, visto que apresentaram pH entre 5,0 - 6,0. Os solos agrícolas brasileiros de maneira geral, apresentam de média a alta acidez (pH H<sub>2</sub>O <5,5) que pode ter como consequência a baixa produtividade das culturas (VELOSO et al. 1992). Os valores obtidos de H+Al (**Tabela 3**) em áreas de agricultura foram maiores quando comparados com a vegetação nativa nas duas profundidades, este pode ser um indicativo que a diferença na acidez potencial nesses ambientes deve-se ao maior valor de H (RONQUIM, 2010), segundo os valores obtidos em pH. Nas figuras 8 e 9 observa-se a correlação positiva do pH com as áreas de mata, assim como a forte correlação com os níveis de Ca.

**Tabela 3.** Atributos químicos em diferentes áreas de cultivo e fragmento mata nativa em profundidade de 0 – 10 cm e 10 – 20 cm.

Tratamentos/época (verão/inverno)	pH		C. O. T		P		K		Ca		Mg		Soma de Bases		H+Al		CTC		
	(CaCl <sub>2</sub> )		(g kg <sup>-1</sup> )		(mg dm <sup>-3</sup> )						(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )								
	I.	V.	I.	V.	I.	V.	I.	V.	I.	V.	I.	V.	I.	V.	I.	V.	I.	V.	
<b>Profundidade de 0-10 cm</b>																			
<b>Mata Centro</b>	6,11 Bb	6,95 Aa	22,28 Ba	33,73 Aa	6,56 Aab	6,87 Ab	0,46 Acd	0,38 Acd	14,50 Ab	14,32 Aa	1,26 Be	3,54 Aa	16,22 Abcd	17,32 Aa	1,97 Ae	1,61 Ab	18,19 Ac	18,93 Aab	
<b>Reflorestamento</b>	6,23 Bb	6,93 Aa	23,52 Ba	33,81 Aa	5,79 Aab	2,81 Ab	0,48 Acd	0,51 Abcd	19,92 Aa	11,18 Bbc	2,09 Bcde	4,05 Aa	24,64 Aa	16,23 Bab	2,39 Ade	1,63 Bb	26,12 Aa	17,86 Bab	
<b>Mata Borda (1)</b>	6,78 Aa	6,96 Aa	21,81 Ba	29,80 Aab	10,41 Aab	5,69 Bb	0,73 Abc	0,53 Bbcd	12,74 Ab	11,06 Abc	1,80 Bde	4,28 Aa	15,27 Acd	15,87 Aab	1,68 Ae	1,37 Ab	17,20 Ac	17,24 Aabc	
<b>Mata Borda (2)</b>	6,38 Bb	6,67 Aa	23,52 Ba	28,36 Ab	4,86 Ab	5,99 Ab	0,55 Acd	0,41 Acd	14,80 Ab	13,12 Aab	1,56 Bde	3,85 Aa	11,75 Be	18,05 Aa	2,96 Acd	1,50 Bb	13,03 Bd	19,55 Aa	
<b>Soja</b>	5,65 Ac	5,71 Ab	14,96 Ab	15,89 Ad	10,07 Bab	19,39 Aa	0,60 Acd	0,72 Ab	12,60 Ab	9,38 Bcd	4,16 Aa	3,84 Aa	18,38 Ab	13,94 Bbc	3,41 Ac	3,50 Aa	20,46 Abc	17,44 Babc	
<b>Milho</b>	4,94 Bd	5,55 Ab	15,27 Ab	22,44 Bc	11,07 Ba	21,22 Aa	0,91 Ab	1,05 Aa	9,66 Ac	8,80 Acde	3,22 Aabc	3,54 Aa	13,79 Ade	13,39 Abc	6,07 Aab	3,48 Ba	19,43 Abc	16,88 Babc	
<b>Cana-de-açúcar</b>	5,32 Acd	5,09 Ac	16,36 Ab	18,07 Acd	5,43 Aab	2,75 Ab	0,37 Ad	0,28 Ad	9,40 Ac	6,56 Be	3,60 Aab	2,90 Aa	13,46 Ade	9,74 Bd	6,64 Aa	3,92 Ba	19,65 Abc	14,20 Bc	
<b>Pastagem</b>	5,60 Ac	5,16 Bc	16,83 Bb	21,50 Ac	6,93 Aab	6,53 Ab	1,75 Aa	0,57 Bbc	12,60 Ab	7,42 Bde	2,84 Abcd	3,54 Aa	17,17 Abc	11,53 Bcd	5,11 Ab	4,04 Ba	22,28 Ab	15,58 Bbc	
<b>CV%</b>	3,2		10,0		36,1		22,0		11,5		20,0		9,7		15,1		9,59		
<b>Profundidade de 10-20 cm</b>																			
<b>Mata Centro</b>	6,16 Abc	6,88 Aa	19,94 Aa	22,44 Aa	5,36 Acd	2,56 Ab	0,39 Ade	0,31 Abc	14,18 Abc	10,7 Bb	1,16 Be	3,66 Aab	15,73 Acd	14,67 Abc	2,12 Acd	2,04 Ab	17,86 Ade	16,71 Ab	
<b>Reflorestamento</b>	6,25 Bb	6,93 Aa	22,59 Aa	20,88 Aa	4,62 Acd	2,09 Ab	0,55 Acd	0,52 Ab	19,34 Aa	9,1 Bbc	3,92 Aab	4,46 Aa	23,23 Aa	14,28 Bbc	2,41 Acd	1,97 Ab	25,65 Aa	16,26 Bbc	
<b>Mata Borda (1)</b>	7,07 Aa	6,67 Ba	19,94 Aa	21,66 Aa	8,67 Abc	2,54 Bb	0,70 Abc	0,40 Bbc	12,12 Abcd	10,44 Ab	1,70 Bde	3,50 Aab	14,52 Acde	15,34 Ab	1,55 Ad	1,80 Ab	16,62 Ae	17,14 Ab	
<b>Mata Borda (2)</b>	6,54 Ab	6,52 Aab	23,37 Aa	23,21 Aa	5,91 Acd	2,38 Bb	0,42 Acde	0,34 Abc	14,98 Ab	13,96 Aa	1,96 Bde	4,44 Aa	11,6 Be	18,74 Aa	2,73 Acd	1,63 Bb	13,39 Bf	20,37 Aa	
<b>Soja</b>	5,7 Bcd	6,05 Ab	15,42 Ab	13,40 Ab	12,30 Bab	16,02 Aa	0,72 Abc	0,38 Bbc	13,9 Abc	9,18 Bbc	4,46 Aa	3,82 Aab	19,08 Ab	13,38 Bbcd	3,07 Ac	3,37 Aa	23,38 Aab	16,76 Bb	
<b>Milho</b>	4,97 Bf	5,36 Ac	15,27 Ab	18,70 Aab	14,25 Aa	14,04 Aa	0,87 Aab	0,89 Aa	11,28 Acd	8,24 Bbc	2,80 Abcd	2,84 Ab	16,36 Abc	11,97 Bcde	5,10 Ab	4,36 Aa	22,29 Abc	16,33 Bbc	
<b>Cana-de-açúcar</b>	5,18 Aef	6,86 aA	14,18 Ab	16,51 Aab	3,47 Ad	2,62 Ab	0,23 Ae	0,21 Ac	9,34 Ad	7,00 Bc	3,44 Aabc	2,90 Ab	13,01 Ade	10,11 Be	7,41 Aa	3,81 Ba	20,42 Acd	13,93 Bc	
<b>Pastagem</b>	5,55 Ade	6,56 abA	16,98 Ab	14,65 Ab	2,99 Ad	4,76 Ab	1,03 Aa	0,57 Bb	12,28 Abcd	7,40 Bc	2,26 Acde	2,96 Ab	15,80 Ad	10,93 Bde	4,84 Ab	3,83 Ba	20,65 Ac	14,77 Bbc	
<b>CV%</b>	4,2		14,4		37,6		28,2		13,3		20,8		10,6		20,3		7,4		

**Dados:** Para cada atributo químico apresentado, médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não apresentam diferenças estatísticas pelo teste de tukey a 5% de probabilidade. Legenda: [0 a 10 cm e 10 a 20 cm] Profundida das amostras coletadas; [CV%] Coeficiente de variação; [V.] Época verão; [I.] Época inverno; [pH] Potencial hidroneônico; [C.O.T.] Carbono orgânico total; [M.O.] Matéria orgânica; [P] Fósforo; [K] Potássio; [Ca] Cálcio; [Mg] Magnésio; [H+Al] Hidrogênio/alumínio: acidez trocável; [CTC] Capacidade de troca catiônica do solo.

O elemento fósforo (P) é um dos nutrientes mais importantes para o crescimento dos vegetais, pois está ligado a diversos processos bioquímicos no fornecimento de energia, como transporte e captação de nutrientes no interior das plantas (BRADY; WEIL, 2008). Apresenta baixa mobilidade no solo e pode estar adsorvido nos colóides, e, assim, tornar-se temporariamente indisponível para as plantas.

Na camada superior e inferior (**Tabela 3**), independente dos períodos, as culturas sob solo de milho e soja se destacaram nos valores obtidos para o P, variando de 11,0 a 21,2 mg.dm<sup>-3</sup> (inverno e verão) e 10,0 a 19,3 mg.dm<sup>3</sup> (inverno e verão) respectivamente, provavelmente os valores atingidos são referentes à utilização de adubos fosfatados pelos agricultores. O acúmulo de P na superfície do solo pode ser proveniente da realização de aplicações anuais de fertilizantes fosfatados, da liberação do elemento durante a decomposição dos restos vegetais acumulados e da menor fixação de P, em razão do menor contato do elemento com componentes inorgânicos de solo, devido a não integração de resíduos vegetais pelo revolvimento de solo (SIQUEIRA NETO et al., 2009).

Esses resultados indicam que ocorreram aplicações de adubos fosfatados naqueles ambientes, o que resulta em um aumento do P no solo. O aumento da dosagem de P feita por produtores pode resultar em um aumento do coeficiente de difusão do elemento, que proporciona uma saturação progressiva e efeito intensificado da concentração do elemento no solo (GODINHO et al., 1997). Segundo Sousa et al. (2002), a resposta da adubação de fosfatos é dependente de diversos fatores, como, a disponibilidade de P no solo, a disponibilidade de outros nutrientes, das espécies cultivadas e das condições climáticas.

Foi observado na camada superior e inferior que algumas áreas de mata apresentaram baixos níveis de fósforo, como: Centro, Reflorestamento e Borda 2, o que pode ser comum de se verificar, pois nesses locais não ocorre a adição de adubos de origem fosfatada pela ação antrópica (**Tabela 3**). Tais áreas na profundidade de 10 – 20 cm apresentaram teores considerados como “muito baixo e médio”, sendo inferior que 2,0 mg.dm<sup>3</sup> e inferior a 6,0 mg.dm<sup>3</sup> (**Tabela 3**) respectivamente (CFSRS/SC, 2004). O nível muito baixo pode ser explicado pelo fato de que mesmo existindo a ciclagem do elemento há elevado absorção pela floresta, o que pode contribuir para a redução do mesmo, ou retenção no solo (NOVAIS; SMITH, 1999). Resultados semelhantes ao estudo foram encontrados por Tomasi et al. (2012) analisando Latossolo sob diferentes sistemas de manejo, onde foi verificado maiores concentrações nas camadas superiores e a queda dos níveis de P ao longo da profundidade, aliado ao efeito da biociclagem principalmente pela baixa mobilidade do elemento no solo (SOUZA; ALVES, 2003; SILVEIRA; STONE, 2001). Os menores valores obtidos de P, nos solos sob floresta nativa é originário do resultado da baixa disponibilidade natural do

elemento nos Latossolos (SPERA, 2009).

O coeficiente de variação (CV) do P no teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), foi muito elevado, o que pode ser comum para o elemento, pois, segundo Frogbrook et al. (2002) e colaboradores, altos valores de CV podem indicar a existência de heterogeneidade dos dados. Podendo ser comum para o P, pois o mesmo é de difícil acesso para as plantas e pode estar distribuído de forma irregular no solo.

Para o elemento K, foi possível observar valores médios e altos (**Tabela 3**) de acordo com CFSRS/SC (2004), houve diferença entre as áreas e as camadas estudadas, sendo que o elemento decresce em função da profundidade.

O maior valor observado para o elemento foi na área de pastagem no período de inverno com valores de  $1,75 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$  (0 – 10 cm) e  $1,03 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$  (10 – 20 cm), esses valores estão associados à aplicação de fertilizantes de maneira irregular feita pelo produtor como já descritos na metodologia, aumento pode ser influência da aplicação de K na cultura, visto que, as áreas de mata nativa (Centro, Reflorestamento, Borda 1 e Borda 2) durante o mesmo período apresentaram concentrações de nível médio, isso indica o efeito do uso da adubação potássica que resultaram na obtenção de altas concentrações no solo, conforme demonstrado na Figuras 8A e 9A.

Solos sob a cultura do milho apresentaram valores entre médios e altos, sendo no inverno na camada superior  $0,91 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$  e verão  $1,05 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ; na camada inferior  $0,87 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$  inverno e  $0,89 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$  verão. De forma geral, o K apresentou concentrações “médias e altas” no solo (CFSRS/SC, 2004). Resultados semelhantes foram encontrados por Carneiro et al. (2009), os quais verificaram que os níveis de K foram maiores nas camadas superiores entre os diferentes sistemas de manejos e uso do solo quando comparadas com vegetação natural. Estudo realizado por Mafra et al. (2008), indicaram queda das concentrações de K em solo sob vegetação nativa em função das profundidades do solo.

Pavelhão (2016) estudando a mesma área de mata nativa encontrou valores em torno de  $0,85 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$  de K na camada de 0 a 20 cm, valor próximo daqueles encontrado neste estudo, onde variaram de 0,42 a  $0,73 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$  no inverno de 0 a 20 cm e 0,31 a  $0,53 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$  no verão para a mesma camada.

Os níveis de Ca foram mais acentuados nos solos sob vegetação nativa (**Tabela 3 e Figuras 8 e 9**), em ambos os períodos e profundidades estudadas. Uma das possíveis causas que podem ter colaborado para o aumento dos níveis de Ca seria a decomposição do sistema radicular da mata, que pode promover a liberação desse nutriente (Araújo et al. 2004). Pavelhão (2016) em seu estudo encontrou valores bem acentuados de Ca, sendo 18,6

$\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ , valores estes que são próximos dos encontrados no presente estudo em épocas de coletas diferentes do autor.

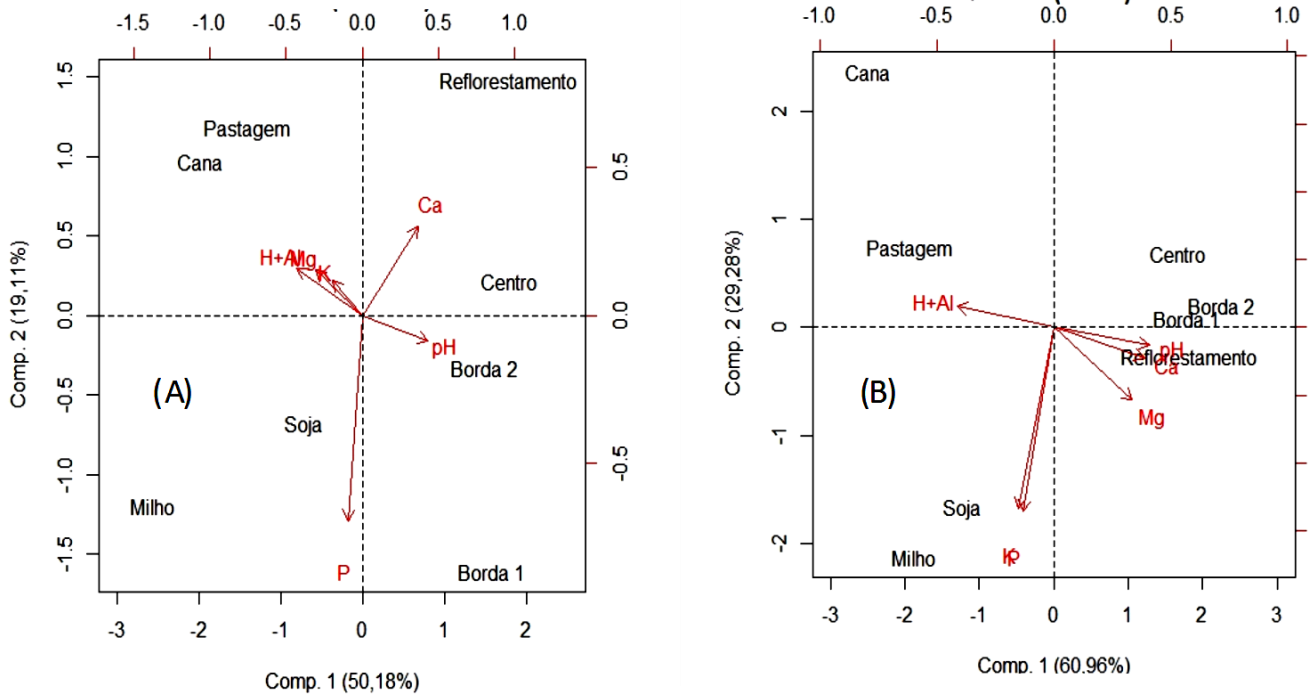
Referente aos níveis de Mg encontrados foi observado que no período de inverno em ambas as profundidades, as áreas de agricultura apresentaram valores maiores e no verão praticamente não houve diferenças estatísticas entre as áreas (**Tabela 3**). Mesmo assim os valores relatados são considerados de níveis altos para o elemento (CFSRS/SC, 2004). Apesar do Mg expressar padrão aproximado ao elemento Ca no solo, pois é adsorvido aos colóides do solo (ERNANI, 2008), ele foi armazenado em grande quantidade como o Ca nos diferentes sistemas de uso, inclusive na áreas de matas no período de verão.

As variações dos níveis de P, K, Ca e Mg encontrados nesse estudo podem estar relacionadas com diversos fatores. Silva; Chaves (2001) citam que, as variações nos atributos químicos do solo podem estar correlacionadas com mudanças causadas por adubações e calagens sucessivas e/ou irregulares. As Figuras 8 e 9 evidenciam a maior presença destes elementos nas áreas cultivadas submetidas à correção e adubação.

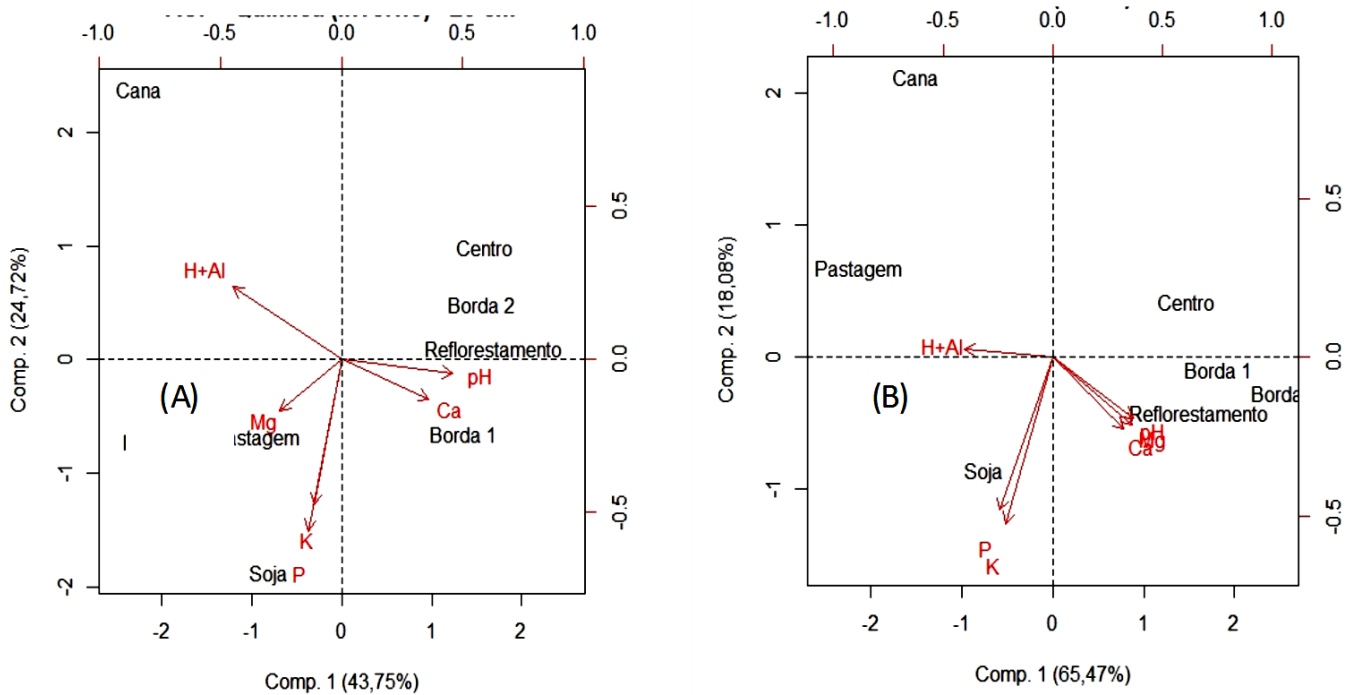
A capacidade de troca catiônica (CTC) é expressa quando considerados todos os cátions permutáveis do solo ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ). Um baixo valor de CTC aponta que o solo possui uma pequena capacidade de manter os cátions permutáveis sob a forma trocável (ROQUIM, 2010).

Observaram-se valores médios de CTC nos solos sob sistemas agrícolas (**Tabela 3**), sendo no inverno na camada superior houve variação entre 19,4 a 22,2  $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ , o maior valor do atributo nessas áreas foi para pastagem, o que está relacionado com o alto valor de K (1,75  $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ) encontrado devido à adubação, tal elemento em conjunto com outros cátions pode ser adsorvido nos colóides do solo, assim elevando a CTC, como observado. No verão os valores encontrados entre as áreas de agricultura e vegetação foram bem próximos para ambas às camadas estudadas, ainda sim, valores altos, o que demonstra a capacidade de fertilidade dos solos.

Nas áreas de vegetação de floresta embora fosse observado valores menores do que as áreas de cultivo, ainda sim foram números expressivos, apenas Reflorestamento foi observado valor alto sendo de 26,1  $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ , o mesmo foi observado por Pavelhão (2016), onde encontrou valores médios de 23,7  $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ , possivelmente devido à maior quantidade de COT encontrado, e, conseqüentemente melhor reciclagem de nutrientes que ocorre no fragmento florestal quando comparado aos solos sob cultivos agrícolas. Raij (1967), estudando 22 perfis de solos do Estado de São Paulo, concluiu que a MOS pode colaborar com aproximadamente 71% da CTC total para as amostras superficiais de solo.



**Figura 8.** Análise por componentes principais dos atributos químicos do solo em profundidade de 10 cm no inverno (A) e no verão (B).



**Figura 9.** Análise por componentes principais dos atributos químicos do solo em profundidade de 20 cm no inverno (A) e no verão (B).

Diante disto, compreender os atributos químicos do solo, torna-se fundamental para entender a função do ambiente e também para o manejo sustentável das áreas. Assim, segundo Godinho et al. (2013), os nutrientes encontrados em solos de fragmentos florestais são importantes temas de estudos científicos, pois o mesmo, serve de ferramenta para se fazer um diagnóstico ambiental, sendo possível dessa maneira, a futuras análises de impactos ambientais provenientes da ação antrópica.

## 5.2 ANÁLISES COMPARATIVAS DOS PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS

Os resultados obtidos mostraram que os diferentes usos do solo influenciaram os atributos microbiológicos estudados, favorecendo de forma significativa os efeitos sobre a biomassa microbiana no solo, respiração basal, quociente microbiano e quociente metabólico. A variação obtida nos resultados microbiológicos do solo pode estar associada à grande diversidade e complexidade do solo, desde mata nativa até áreas de agricultura. Essas complexidades afetam de forma direta a quantidade e qualidade da serapilheira que é depositada no solo, que conseqüentemente influencia a biomassa microbiana de modo geral.

No inverno, o CBM foi menor em relação ao verão, (**Tabela 4**). A área que mais se destacou para ambas as profundidades foi a pastagem com 643,8 mg C kg<sup>-1</sup> (0 – 10 cm) e 568,7 mg C kg<sup>-1</sup> (10 – 20 cm). Nas figuras 10 e 11 observam-se a correlação dos valores obtidos de CBM para pastagem. Carneiro et al. (2008) observaram um aumento significativo no valor de CBM em solos sob sistema de pastagem, esse aumento pode ser expresso devido ao sistema radicular fasciculado das espécies de gramíneas, que se concentra principalmente nos 10 cm de profundidade do solo, que resulta em maior aporte de C no solo. Outros fatores que podem contribuir para o aumento do CBM nos sistemas de pastagens estão relacionados com a pressão de pastejo, que tem efeito no aumento do carbono e nitrogênio da biomassa (WANG et al., 2006) e a excreção dos animais, que irá agir como um fertilizante natural no meio (SAVIOZZI et al., 2001; IYYEMPERUMAL et al., 2007).

Silva et al. (2012) estudando áreas sob diferentes usos do solo, sendo eles cultivo convencional, pastagem e estágios sucessionais em Mata Atlântica, encontrou valores de CBM maiores em pastagem quando comparados com locais de cultivos. Tais resultados corroboram com o presente estudo, o que demonstra ser comum, pois o sistema de pastejo proporciona boa cobertura do solo, que garante boas condições para atividade biológica.

Perante as demais culturas, milho, soja, cana-de-açúcar os resultados foram menores, sendo: milho 100,3 mg C kg<sup>-1</sup>, soja 159,7 mg C kg<sup>-1</sup>, seguidos das áreas de Mata Borda 1

195,6 mg C kg<sup>-1</sup> e Mata Centro 205,0 mg C kg<sup>-1</sup> na profundidade 0 – 10 cm. Na camada mais profunda os menores valores também foram para Milho (120,0 mg C kg<sup>-1</sup>), soja (129,8 mg C kg<sup>-1</sup>) e cana-de-açúcar (172,6 mg C kg<sup>-1</sup>), conforme o demonstrado na Tabela 4 e Figuras 9 e 10. Tais resultados podem ser representados pela baixa umidade presente no solo, pois solos mais secos tendem a apresentar redução/diminuição dos teores da biomassa e atividade enzimática devido a restrição do fornecimento de substratos provenientes das plantas (ALLISON; TRESEDER, 2008)

O carbono da biomassa microbiana (CBM), demonstrou uma grande resposta no período de verão em ambas as profundidades, para todas as áreas de mata nativa, sendo os maiores valores para, Reflorestamento, Mata centro, Borda 1 e Borda 2; e menores valores para, Soja, milho, cana e pastagem (**Tabela 4**). Embora não tenha sido estudado o aporte de serrapilheira neste trabalho, vale ressaltar que todas as áreas de mata nativa possuíam camadas variadas de serrapilheira podendo chegar até trinta centímetros de profundidade. Essa condição torna favorável o desenvolvimento da biomassa microbiana sob vegetação nativa, o que mantém uma menor oscilação dos níveis de temperatura e umidade do solo (MATSUOKA et al., 2003). Segundo Gama-Rodrigues et al. (2005), o CBM é um dos indicadores microbiológicos mais sensível e significativo às diversas mudanças que podem ocorrer nos sistemas, quando associado com conteúdos de COT do solo.

Ainda no período de verão, estação de maior ocorrência de CBM no estudo, em ambas as profundidades, as áreas agrícolas apresentaram valores significativamente menores do que aqueles de mata nativa (**Tabela 4**). Diferente do encontrado em vegetação natural que apresenta o estoque de C mais estável e regular, devido ao equilíbrio que estas áreas apresentam. Apesar do constante aporte de MO nas áreas de agricultura, as práticas agrícolas de aração, gradagem, resultam em quebra dos agregados do solo, o que leva a exposição da camada fértil do solo à altas temperaturas, tornando o uso do carbono menos eficiente pela biomassa microbiana, conseqüentemente ocorre a queda do CBM, quando comparado com área de remanescente florestal. Segundo Piao et al. (2000), parte dos microrganismos presentes no solo tendem a morrer nos períodos mais secos, e com a retomada da época de chuvas (aumento da umidade) a biomassa remanescente do período anterior tem a possibilidade de promover uma alta atividade.

Segundo Cardoso; Andreote (2016), os solos sob sistema de cultivo podem determinar e selecionar certa quantidade de microrganismos, levando a sua alteração e redução da diversidade da vida edáfica. Matsuoka, et al. (2003); Costa et al. (2006); Mijangos et al. (2006) e Ribeiro (2014), também observaram em seus estudos maiores valores de biomassa microbiana em áreas de floresta nativa do que áreas agrícolas. Segundo Silva et al.

(2012), as taxas mais elevadas de C em áreas de vegetação nativa se devem ao longo tempo de cobertura florestal e deposição de serapilheira.

Ribeiro (2014) estudando diferentes áreas de sistemas agroflorestais em confronto com mata nativa em Latossolo Vermelho, obteve valores próximos a  $533,9 \text{ mg C kg}^{-1}$  em floresta na camada de 0 – 20 cm de profundidade durante período de verão, resultado semelhante foi obtido no presente estudo na Mata de Borda 2 com valores de  $511,7 \text{ mg C kg}^{-1}$  no período de verão, para a mesma profundidade, o que demonstra que tais valores são comuns em áreas de vegetação.

É importante salientar que os índices de BMS, demonstram sensível indicador às mudanças que ocorrem no solo, como manejo e ocupação, sendo representado como a parte ativa e viva da MO, portanto, mudanças na biomassa podem ser observadas, e, desse modo, é possível recorrer à estratégias e decisões de manejo com a finalidade de garantir a qualidade do solo minimizando os impactos ambientais (CARDOSO; ANDREOTE, 2016).

Diante das Figuras 10 e 11 é possível observar a diferença obtida entre as áreas naturais e as agrícolas, onde o CBM tende a se apresentar nos locais onde possui maior aporte de matéria orgânica e menor interferências antrópicas.

A relação entre o CBM e o COT é intitulada de quociente microbiano ( $qMIC$ ), esse parâmetro tem sido empregado pela comunidade científica para expressar a qualidade da MO presente no solo, onde maiores e menores valores podem ser o indicador de acúmulo ou perda de C do solo. Brookes et al. (1984) citam valores de referência de 1,8% a 2,1% para nível de equilíbrio no solo. Tais variações encontradas podem estar associadas diretamente ao manejo do solo e época de coleta (BALOTA et al., 1998).

No verão os maiores valores de  $qMIC$  foram encontrados em Mata centro, Reforestamento, Mata borda 1 e Mata borda 2, sendo respectivamente de 2,17 %, 2,08 %, 1,98 % e 1,82 % na camada de 0 – 10 cm; e de 1,54 %, 1,72 %, 1,75 % e 1,88% na camada de 10 – 20 cm, valores estes próximo do ponto de equilíbrio na eficiência da biomassa microbiana em utilizar o C orgânico do solo. Nos ecossistemas mais estáveis, ocorre certa tendência de aumento da atividade dos microrganismos, assim, conseqüentemente o  $qMIC$  pode aumentar atingindo equilíbrio. No período de inverno mesmo em áreas de vegetação foram obtidos valores de  $qMIC$  abaixo de 1 %, sendo estes: Centro Mata 0,92 % (0 – 10 cm) e 0,83 (10 – 20 cm); Borda 2 0,93 % (0 a 10cm); Borda 1 0,87 % (0 – 10 cm) e 0,94 (10 – 20 cm); e Milho com 0,65 % (0 – 10 cm), 0,79 % (10 – 20 cm) (**Tabela 4**). Essa ocorrência pode ser justificada pelo baixo índice de temperatura no período de inverno (**Figura 2**), o que pode promover a mineralização do C, com isso, os valores de  $qMIC$  inferiores a 1% indicam que pode existir algum fator que limite à atividade microbiológica no solo (JAKELAITIS et al.,

2008).

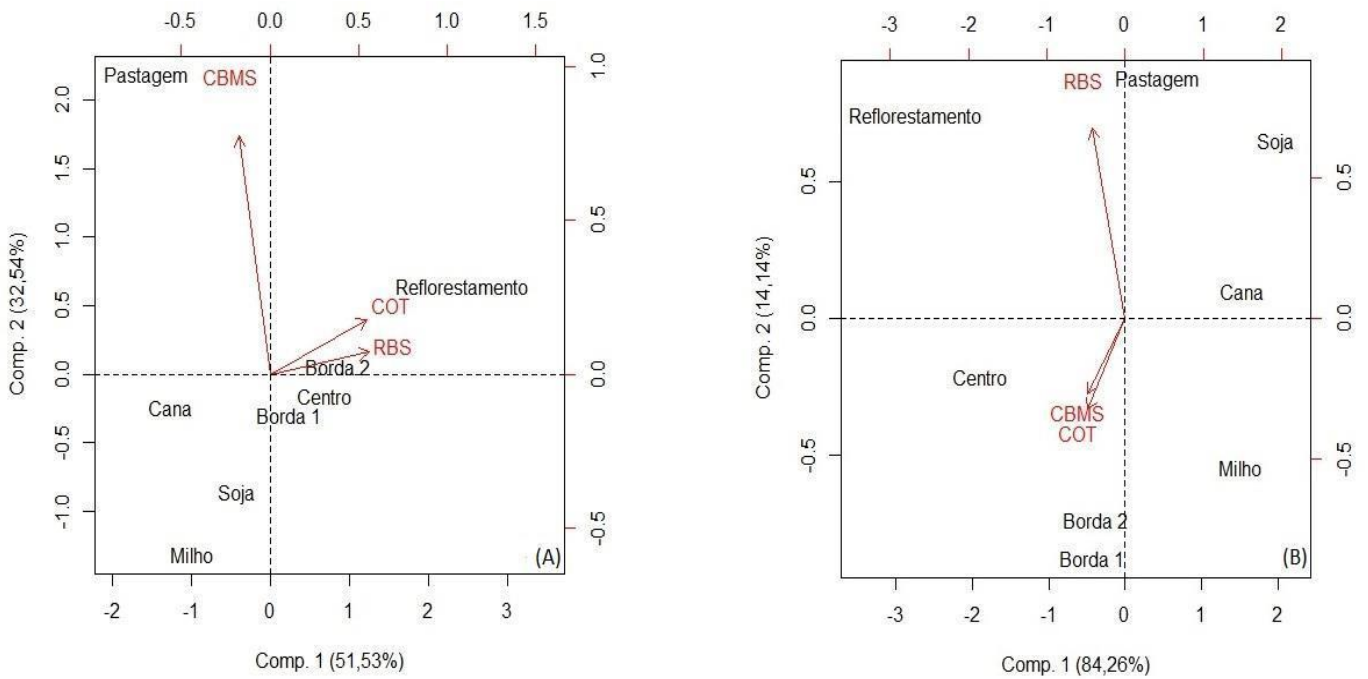
No inverno a área de pastagem apresentou  $qMIC$  entre 3,16 e 2,56 % nas camadas 0 – 10 e 10 – 20 cm respectivamente, demonstrando carbono imobilizado na biomassa microbiana. O fato ocorrido no inverno pode estar associado à cobertura produzida pela pastagem, aliado com a aplicação de fertilizante químico na área, sendo possível observar o elevado CBM com 643,8 mg C kg<sup>-1</sup> (0 – 10 cm) e 568,7 mg C kg<sup>-1</sup> (10 – 20 cm), o que gera maior acúmulo de C nos tecidos microbianos. Já no período de verão é possível observar na pastagem que houve um decréscimo dos valores de  $qMIC$  (**Tabela 4**), que passaram de 3,16 para 1,71 % (0 – 10 cm) e de 2,56 para 1,29 % (10 – 20 cm), o que sugere que o carbono orgânico que encontrava-se na forma indisponível (instável) para a microbiota, foi convertido em formas orgânicas estáveis.

Em áreas de pastagens, devido à existência de gramíneas, espécies que possuem um amplo sistema de raízes, que são mais concentradas nas camadas superficiais do solo, apresentam maior rizosfera, isto permite o aumento e desenvolvimento da microbiota ativa do solo devido à liberação de substâncias pelas raízes das plantas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

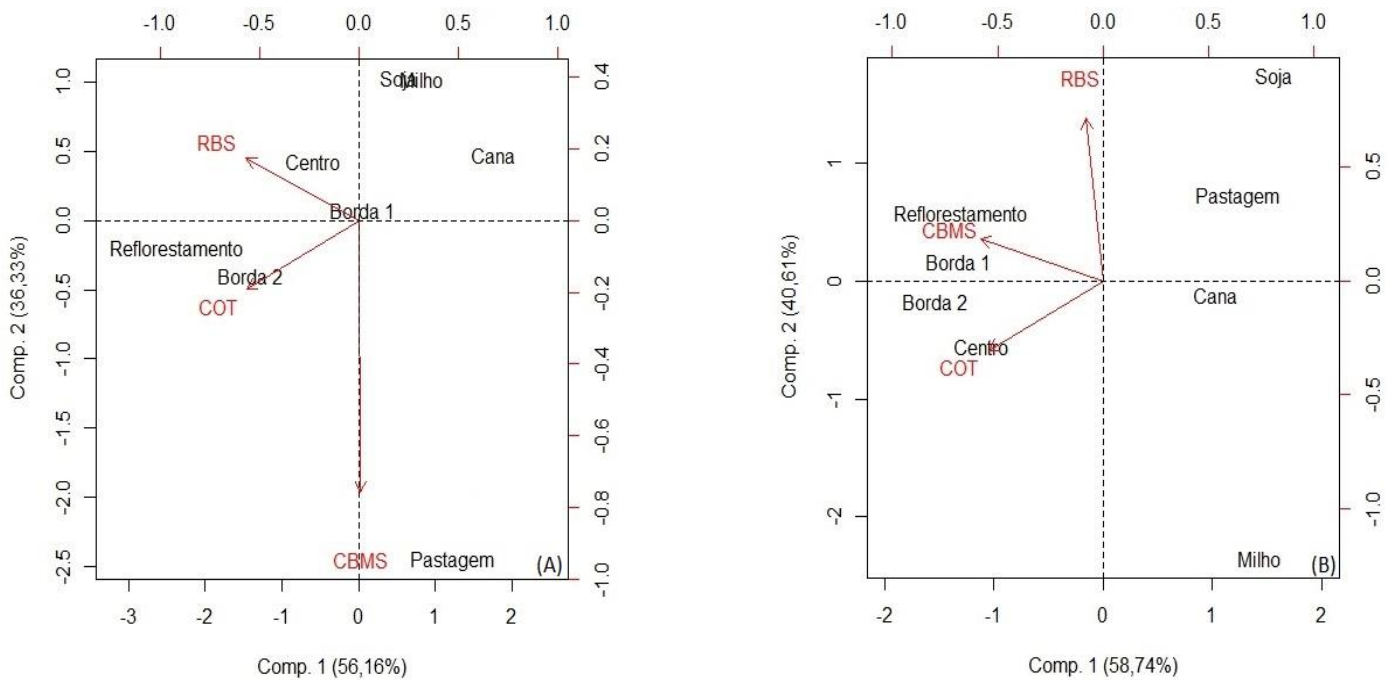
As áreas de uso agrícola foram aquelas que apresentaram o menor valor de  $qMIC$ , no inverno, a soja apresentou variação de 1,07 e 0,84 % na camada 0 – 10 cm e 10 – 20 cm respectivamente, o milho apresentou baixos valores, entre 0,65 a 0,79 %. No período de verão a soja obteve valores de 0,63 e 1,11% na camada de 0 – 10 cm e 10 – 20 cm respectivamente, e o milho com valores entre 1,05% na camada superior e de 0,39% na camada inferior (**Tabela 4**).

Segundo Gama Rodrigues et al. (2008), baixos valores de  $qMIC$ , poder ser associados à baixa qualidade nutricional presente na matéria orgânica, isso faz com que a microbiota fique incapaz de poder utilizar o C orgânico presente no solo. Nos solos que apresentam menor valor deste indicador pode estar ocorrendo perda de C, e, conseqüentemente, redução da BMS (DE-POLLI; PIMENTEL, 2005; SAMPAIO et al., 2008; MATIAS et al., 2009).

Segundo Mercante et al. (2004), quando os valores de  $qMIC$  são elevados, indica grande quantidade de carbono orgânico no solo, e baixos valores podem indicar perda do C durante certo período de tempo. Desta forma, o  $qMIC$  sofre grande influência de diversos fatores, que podem determinar os seus altos ou baixos valores, como exemplo o histórico do manejo da área e a estabilidade do C orgânico presente (SILVA et al., 2010). Portanto, o  $qMIC$  aponta se os níveis de carbono estão permanecendo estável ou se transformando de acordo com as condições impostas aos sistemas (TÓTOLA; CHAER, 2002).



**Figura 10.** Análise por componentes principais dos atributos microbiológicos do solo em profundidade de 10 cm no inverno (A) e no verão (B).



**Figura 11.** Análise por componentes principais dos atributos microbiológicos do solo em profundidade de 20 cm no inverno (A) e no verão (B).

Na análise do quociente metabólico ( $qCO_2$ ), no inverno foram observados os menores valores nas áreas de pastagem e cana-de-açúcar e maior nas demais áreas analisadas (**Tabela 4**), tal fato pode estar relacionada a estágio de pousio que se encontrava a área de cana e a pastagem sem alteração do sistema a mais de 5 anos.

Isto pode ser um indicativo de perdas de C seja por ação antrópica ou natural. Conforme Martins et al. (2010) e Melloni et al. (2008), maiores valores de  $qCO_2$  indicam maiores perdas de carbono por  $CO_2$  por unidade de BM, sendo relacionados à mineralização da BM. Diante disto, para as áreas de mata nativa (Reflorestamento e Mata Centro), embora o clima frio diminua a atividade dos microrganismos, os valores elevados podem ter sido ocasionados pela quantidade C orgânicos presente no solo, pois essas áreas apresentaram grandes camadas de serapilheira ao longo da floresta, com isso ocorre grande atividade metabólica da biomassa, condição de distúrbio ou algum tipo de estresse dentro dos ecossistemas (BARDGETT; SAGGAR, 1994).

No verão foram observados menores valores nas áreas de vegetação comparada as demais áreas (agriculturas e pastagem) nas camadas de 0 – 10 e 10 – 20 cm de profundidade. Tal fato pode estar relacionado ao manejo, uso e estágio fenológico da planta, diante disto valores obtidos demonstram que a microbiota do solo apresentou algum tipo de estresse, seja ela por fatores bióticos ou abióticos.

Dessa forma, quanto menor for o  $qCO_2$ , maior é a economia da biomassa no uso da energia, o que indica um ambiente mais estável e próximo do estado de equilíbrio (TÓTOLA; CHAER, 2002). Os menores valores de  $qCO_2$ , (entre 1,08 a 1,64 mg de C- $CO_2$   $kg^{-1}.h^{-1}$  de 0 – 10 cm e 1,55 a 1,79 mg de C- $CO_2$   $kg^{-1}.h^{-1}$  de 10 – 20 cm), foram encontrados nas áreas de mata nativa, isso ocorre devido à grande quantidade de C disponível para degradação da BM do solo, como observados por Dinesh et al. (2003) em áreas de floresta. Nos ambientes naturais ocorre o contínuo fornecimento de MO, sendo mais sujeita à decomposição, pois a comunidade microbiana está em um equilíbrio dinâmico, permanecendo com cobertura, e, conseqüentemente, a mesma fica suscetível à resposta (SANTOS et al., 2004). Segundo Balota et al. (2015), estudando a qualidade do solo em áreas de floresta nativa, cultivo de café, cultivo convencional e plantio direto no norte do Estado do Paraná, também verificaram o melhor desempenho da microbiota na vegetação nativa.

Assim, a eficácia da biomassa em utilizar do C é baseado na incorporação do elemento em seus tecidos ou a perda na forma de  $CO_2$  pela respiração (MENDES et al., 2009), sendo expresso  $qCO_2$ , que pode indicar condições estressantes para a microbiota quando atinge altos valores (ANDERSON; DOMSCH, 1989). Sendo assim, segundo De-Polli; Pimentel (2005), o atributo microbiológico  $qCO_2$ , pode ser um indicador sensível para

determinar a qualidade do substrato e atividade dos microrganismos nos sistemas.

Em área agrícola os elevados níveis de  $q\text{CO}_2$  são associados à resposta à mineralização do CBM (MARTINS et al., 2010). Dessa forma, é possível observar a resposta à mineralização da BMS nessas áreas foram maiores do que os valores das áreas naturais no período de verão.

Referente aos valores encontrados para a cultura da soja, no período de verão, os tratos culturais podem ter afetado a microbiota do solo, como foi demonstrado nos resultados obtidos em  $q\text{CO}_2$ . Segundo Six et al. (2000) o preparo do solo fragmenta as partículas e agregados do solo, aumentando a superfície de contato da MO à ação da biomassa, isso aumenta a decomposição da MO presente no solo e libera  $\text{CO}_2$  para a atmosfera. Outro fator se deve pela substituição da vegetação que acelera a decomposição dos resíduos vegetais e, assim, o valor do  $q\text{CO}_2$  aumenta (SILVA et al., 2007c), explicando, desse modo, o aumento do  $q\text{CO}_2$  após o preparo do solo no sistema de plantio convencional.

Em função dos valores obtidos pelo o sistema de pastagem, no período de verão 3,02 mg de  $\text{C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  na camada de 0 – 10 cm e 3,52 mg de  $\text{C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  de 10 – 20 cm, tais valores demonstram um aumento de atividade. Carneiro et al. (2008) confirmaram em seus estudos um maior valor de  $q\text{CO}_2$  em áreas de pastagem não degradadas. Assim, pode estar ocorrendo à renovação do sistema radicular, que conseqüentemente leva a alta atividade biológica sobre esse material (ISLABÃO et al., 2015).

Como foi observado no presente estudo, altos valores obtidos em  $\text{C-CO}_2$  podem constatar duas diferentes situações, sendo elas, estresse/distúrbios ou altos níveis de produtividade dentro dos sistemas (ISLAM; WEIL, 2000).

Os dados obtidos de respiração basal do solo (RBS) indicam o comportamento respiratório da biomassa microbiana, demonstrando sua atividade. Sendo assim, segundo Batisda et al. (2008) a RBS concede a informação sobre o substrato disponível, além de corresponder aos diversos efeitos das mudanças temporais sobre a comunidade edáfica presente no solo.

No período de inverno na camada de 0 – 10 cm os maiores valores apresentados de RBS (**Tabela 4**) foram Reflorestamento, com valor de 1,76 mg de  $\text{C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  e na camada mais inferior o Reflorestamento também apresentou maiores valores sendo 1,57 mg de  $\text{C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ . Isso demonstra uma maior atividade biológica nas áreas sob vegetação. As Figuras 10 e 11 evidenciam a maior taxa de RBS nas áreas de mata nativa. Altos valores de RBS podem indicar de certa forma, elevados níveis de atividade da biomassa, o que leva à altas taxas de mineralização de decomposição da matéria orgânica, podendo demonstrar níveis de estresse ou degradação ambiental (TOTÓLA; CHAER, 2002), no caso específico dessa área que

apresentou altos valores de RBS em comparação com os demais, é possível que o ambiente esteja em ampla atividade biológica devido a grande quantidade de matéria orgânica encontrada no mesmo como observado na Tabela 4. Segundo Roscoe et al. (2006), altas taxas de RBS podem ser considerada como aspecto desejável, em razão que a taxa de decomposição dos materiais orgânicos no meio, irá dispor maior quantidade de nutrientes às plantas.

Nesse contexto, de acordo com Silveira et al. (2006) e Alves et al. (2011), nos solos de vegetação nativa, é esperado encontrar índices relativamente maiores de atividade microbiana quando comparados com outros tipos de solo e de coberturas vegetais cultivados. Desse modo, quando são encontrados valores maiores, associa-se a constante cobertura vegetal que propicia maior acúmulo de matéria orgânica, e, conseqüentemente, maior fonte de nutrientes para o desenvolvimento da comunidade edáfica.

No verão na profundidade de 0 – 10 cm as áreas que se diferiram significativamente das demais foram Reflorestamento, Mata Centro e Pastagem, com respectivos valores 1,16, 0,88 e 0,83 mg de C-CO<sub>2</sub> Kg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>, isso demonstra uma maior atividade nessas áreas, sendo elas que possuem grande camada de cobertura, não deixando o solo exposto aos fatores bióticos e abióticos. Na camada de 10 – 20 cm, ainda para o mesmo período, os maiores valores foram para Soja e Reflorestamento com 1,00 e 0,67 mg de C-CO<sub>2</sub> Kg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup> respectivamente, sendo notável a diferença entre as duas, onde o valor mais alto da soja pode estar associado a maior atividade da biomassa pela incorporação de fertilizantes orgânicos nessa área. Dessa maneira, foi observado que Reflorestamento e Mata Centro apresentaram maior aporte de carbono no solo, em virtude da constante deposição de serrapilheira, tendo como consequência o acúmulo de matéria orgânica no solo. Tais resultados corroboram com Silva et al. (2012), que encontraram altos valores de RBS em fragmentos de mata nativa, quando comparados com áreas de agricultura anual e perene. A maior liberação de CO<sub>2</sub> em áreas nativas é relacionada às maiores quantidade de C presentes nesses ambientes, isso preconiza contínua deposição e mineralização da serrapilheira, com seu acúmulo, ocorre elevada atividade biológica como consequência.

As demais áreas agrícolas e de mata apresentaram menores valores de RBS (**Tabela, 4**), o mesmo foi encontrado por Ribeiro (2014) estudando indicadores microbiológicos em diferentes sistemas agroflorestais e vegetação nativa em Latossolo Vermelho, nos períodos de chuva e seca, onde o autor se deparou com valores entre 0,08 a 0,11 (mg de C-CO<sub>2</sub> Kg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>) época chuvosa e 0,15 a 0,19 (mg de C-CO<sub>2</sub> Kg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>) em época de seca para a profundidade de 0 – 20 cm.

Apesar da grande variabilidade de CBM encontrada entre as áreas como mostra a Tabela 4, a RBS não apresentou grandes diferenças entre as áreas de plantios e, de modo geral

**(Figura 10A e 11).**

Diante dos resultados apresentados nesse estudo, foi observada que em relação ao solo, o fragmento florestal apresenta boa qualidade nutricional, e, conseqüentemente, boa atividade microbiana exercida pela biomassa edáfica. Apesar de ser um fragmento pequeno, foi verificado que as áreas de Mata estudadas não sofreram perdas nutricionais significativas. Assim, o efeito de borda se torna um importante aspecto para se avaliar os ambientes naturais, sendo resultado do processo de fragmentação dos habitats. Desse modo, entender os processos ecológicos que ocorrem na vegetação nativa pode oferecer informações para recuperação e manejo das áreas nativas (FLEURY, 2003).

Nas áreas de agricultura (Soja/milho, cana-de-açúcar e pastagem), notou-se que os atributos observados foram bem variáveis de acordo com a ação antrópica, no entanto em alguns casos a área de pastagem apresentou resultados mais próximos aos de vegetação nativa, isso pode estar ligado ao fato de que a pastagem mantém boa cobertura no solo durante todo ano, caso que não ocorre nas demais áreas. Já as áreas soja/milho, em alguns casos são notáveis o uso de corretivos e fertilizantes químicos para manutenção das mesmas, visto que essas áreas não conseguem manter boa cobertura no solo.

**Tabela 4.** Atributos microbiológicos em diferentes áreas de cultivo e fragmento mata nativa em profundidade de 0 – 10 cm e 10 – 20 cm.

Tratamentos/época (verão/inverno)	CBM(mg C. kg <sup>-1</sup> solo)		C. O. T (g kg <sup>-1</sup> )		qMIC (%)		RBS(mg de C-CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> )		qCO <sub>2</sub> (mg C-CO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> /BMS-C)	
	I.	V.	I.	V.	I.	V.	I.	V.	I.	V.
<b>Profundidade de 0-10 cm</b>										
Mata Centro	205,00 Bbc	836,14 Aa	22,28 Ba	33,73 Aa	0,92 Bbc	2,17 Aa	0,55 Bb	0,88 Aab	2,82 Aabc	1,26 Bc
Reflorestamento	287,15 Bb	700,75 Aab	23,52 Ba	33,81 Aa	1,22 Bbc	2,08 Aab	1,76 Aa	1,16 Ba	5,39 Aa	1,64 Bbc
Mata Borda (1)	195,63 Bbc	609,20 Abc	21,81 Ba	29,80 Aab	0,87 Bbc	1,98 Aab	0,36 Bbc	0,61 Abc	1,91 Ac	1,08 Bc
Mata Borda (2)	226,96 Bbc	511,76 Ac	23,52 Ba	28,36 Ab	0,93 Bbc	1,82 Aabc	0,53 Ab	0,63 Abc	2,40 Abc	1,22 Bc
Soja	159,78 Abc	99,11 Ae	14,96 Ab	15,89 Ad	1,07 Abc	0,63 Ad	0,56 Ab	0,61 Abc	3,81 Bab	5,96 Aa
Milho	100,34 Ac	174,39 Ade	15,27 Ab	22,44 Bc	0,65 Ac	1,05 Acd	0,31 Abc	0,46 Ac	2,72 Aabc	2,66 Ac
Cana-de-açúcar	265,36 Abc	232,24 Ade	16,36 Ab	18,07 Acd	1,64 Ab	1,31 Abcd	0,18 Ac	0,56 Abc	0,66 Bd	2,44 Ac
Pastagem	643,80 Aa	273,98 Bd	16,83 Bb	21,50 Ac	3,16 Aa	1,71 Babc	0,25 Bbc	0,83 Ab	0,33 Be	3,03 Aab
CV%	24,8		10,0		29,1		25,7		2,49*	
<b>Profundidade de 10-20 cm</b>										
Mata Centro	168,64 Bbc	333,04 Aa	19,94 Aa	22,44 Aa	0,83 Bb	1,54 Aab	0,63 Ab	0,49 Abc	3,85 Ab	1,55 Bc
Reflorestamento	269,53 Bb	400,10 Aa	22,59 Aa	20,88 Aa	1,20 Bb	1,72 Aab	1,57 Aa	0,67 Bab	5,61 Aa	1,79 Bc
Mata Borda (1)	187,50 Bbc	383,95 Aa	19,94 Aa	21,66 Aa	0,94 Bb	1,75 Aab	0,34 Bbc	0,61 Ab	1,76 Acd	1,65 Ac
Mata Borda (2)	243,58 Bbc	440,92 Aa	23,37 Aa	23,21 Aa	1,02 Bb	1,88 Aa	0,67 Ab	0,58 Ab	2,95 Abc	1,58 Bc
Soja	129,81 Abc	150,82 Ab	15,42 Ab	13,40 Ab	0,84 Ab	1,11 Ab	0,56 Bb	1,00 Aa	4,08 Bab	5,23 Aa
Milho	120,09 Ac	63,21 Bb	15,27 Ab	18,70 Aab	0,79 Ab	0,39 Ac	0,44 Abc	0,12 Bc	4,60 Aab	2,27 Bbc
Cana-de-açúcar	172,61 Abc	167,96 Ab	14,18 Ab	16,51 Aab	1,21 Ab	1,08 Ab	0,13 Bc	0,51 Ab	0,78 Bd	3,11 Abc
Pastagem	568,70 Aa	182,73 Bb	16,98 Ab	14,65 Ab	2,56 Aa	1,29 Bab	0,12 Bc	0,64 Aab	0,24 Bd	3,52 Aab
CV%	28,3		14,4		26,7		34,0		31,1	

**Dados:** Para cada atributo microbiológico apresentado, médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não apresentam diferenças estatísticas pelo teste de tukey a 5% de probabilidade. Legenda: [0 a 10 cm e 10 a 20 cm] Profundidade das amostras coletadas; [CV%] Coeficiente de variação; [V.] Época verão; [I.] Época inverno; [CBM] Carbono da Biomassa Microbiana do solo; [qMIC] Quociente Microbiano; [RBS] Respiração Basal do Solo; [qCO<sub>2</sub>] Quociente Metabólico do Solo.

## 6 CONCLUSÃO

Os solos sob os diferentes sistemas de manejos e usos diferiram quanto as características químicas e microbiológicas em relação às áreas de vegetação do fragmento de Mata Atlântica, sendo que essas alterações são mais evidentes na camada superficial do solo. Os diferentes usos do solo influenciaram a atividade microbiana, sendo as condições mais favoráveis aquelas que ocorreram em áreas de mata.

As áreas agricultáveis Soja, Milho, Cana-de-açúcar e Pastagem, apresentaram algumas diferenças em certos atributos como, pH, P, K, Ca e Mg na camada superior. Desta forma, Soja e Milho apresentou melhores índices de fertilidade e menores valores de CBM entre as áreas de agricultura, que demonstra a relação de tratos culturais promovidos pelos agricultores. Já as áreas de Cana-de-açúcar e Pastagem obtiveram índices menores, podendo ainda ser considerados como bons índices de fertilidade.

De modo geral os atributos químicos e microbiológicos utilizados no trabalho foram importantes para demonstrar a qualidade da matéria orgânica presente no solo, e também a atividade microbiana. O  $qCO_2$  indicou que nos sistemas caracterizados pelo manejo mais intensivo do solo, a biomassa microbiana foi menos eficiente ao utilizar da matéria orgânica, consequentemente liberando mais C na forma de  $CO_2$ , e, assim incorporando menos C nos tecidos microbianos, sendo um indicativo de perdas de C.

Embora seja um pequeno fragmento, de modo geral, os atributos microbiológicos não diferiram entre as áreas de vegetação nativas, mostrando que há grande semelhança do comportamento da biomassa microbiana nesses quatros locais estudados, sendo possível observar que o solo do mesmo possui boa fertilidade, podendo sustentar o ecossistema ao longo do tempo.

Estudos voltados para essa linha de pesquisa, podem ser de grande ajuda para o produtor na escolha de técnicas de monitoramento da qualidade do solo, sendo mais eficientes e sustentáveis, tendo em vista a melhoria dos nutrientes a longo prazo. Em áreas de vegetação nativa, são de grande contribuição para o monitoramento da qualidade dos fragmentos, visando a proteção e conservação.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLISON, S. D.; TRESEDER, K. K. Warming and drying suppress microbial activity and carbon cycling in boreal forest soils. **Global Change Biology**, v. 14, p. 2898-2909, 2008.

ALVES, Tatiane dos Santos; CAMPOS, Lizia Lenza; NETO, Nicolau Elias; MATSUOKA, Márcia; LOUREIRO, Maria Fátima. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 33, n. 2, p. 341-347, 2011.

ANDERSON, J. P. E. Soil respiration. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. (Ed). **Method of analysis**. 2<sup>a</sup> ed. part 2. Madison: American Society of Agronomy: Soil Science Society of America, p. 831-871. 1982.

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.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state. **Biology and Fertility of Soils**, v. 1, p. 81-89, 1985.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K.H. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> (qCO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biololy Biochemical.**, v. 25, p.393-395, 1993.

ANDRADE, R. G.; LEIVAS, J. F.; GARÇON, E. A. M.; SILVA, G. B. S.; GOMES, D.; VICENTE, L. E.; BOLFE, E. L.; VICTORIA, D. C. **Indicativo de degradação de pastagens a partir de dados Spot Vegetation**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Anais. Foz do Iguaçu, PR, Brasil, INPE. abril de 2013. Disponível em: <<http://marte2.sid.inpe.br/rep/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.28.23.21.55> >. Acesso em: 08 ago. 2016.

ANGERS, D.A.; PESANT, A. & VIGNEUX, J. Early cropping-induced changes in soil aggregation, organic matter and microbial Biomass. **Soil Science**. Soc. Am. J., 56:115-119, 1992.

ARAÚJO, E. A.; LANI, J.L. ; AMARAL, E.F.; GUERRA, A. Uso da terra e propriedades físicas e químicas de Argissolo Amarelodistrófico na Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 28, p. 307-315. 2004.

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

BADIANE, N. N. Y.; CHOTTE, J. L.; PATE, E.; MASSE, D.; ROULAND, C. Use of soil enzymes to monitor soil quality in natural and improved fallows in semi-arid tropical regions. **Applied Soil Ecology**, v. 18, p. 229-238, 2001.

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.

BALBINO, L.C. **Évolution de la structure et des propriétés hydrauliques dans des Ferralsols mis en prairie Pâturée (Cerrado, Brésil)**. 2001. 128p. Thèse (Docteur) – L’Institut National Agronomique Paris-Grignon, Paris. 2001.

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.

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

BARDGETT, R. D.; SAGGAR, S. Effects of heavy metal contamination on the short-term decomposition of labeled [14C] glucose in a pasture soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.26, p.727-733, 1994.

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.; BARBERÁ, G. G.; GARCÍA, C.; HERNÁNDEZ, T. Influence of orientation, vegetation and season on soil microbial and biochemical characteristics under semiarid conditions. **Applied soil Ecology**, v. 38, p. 62-70, 2008.

BASTOS, S.A. **Cana-de-açúcar, o verde mar de energia**. São Paulo, Ícone, 127p. 1987.

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<sup>a</sup> ed. rev. e atual. Porto Alegre: Metrópole, p.7-18, 2008.

BEHERA N.; SAHANI U. Soil microbial biomass and activity in response to Eucalyptus plantation and natural regeneration on tropical soil. **Forest Ecology and Management**, v. 174, p. 1-11, 2003.

BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2<sup>a</sup> ed. Viçosa. Ed. UFV, 969p. 2005.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soil**. 14<sup>a</sup> ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson-Prentice Hall, 2008.

BRASIL. MAPA - **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Agropecuária brasileira crescerá 2,4 % em 2016. 2015. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2017/02/pib-agropecuaria-deve-crescer-3-1-em-2017>>. Acesso em: 08 jun. 2016.

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

BRASIL. MAPA - **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. 2016b.

Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/milho>>. Acesso em: 07 ago. 2016.

BRASIL. MAPA - **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. 2016c. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/recuperacao-areas-degradadas>>. Acesso em: 08 Ago. 2016.

BRASIL. MAPA - **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. 2016d. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/soja>>. Acesso em: 01 jul. 2016.

BRASIL. MAPA - **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Estatísticas e Dados Básicos de Economia Agrícola, Janeiro. 2017a. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/comunicacao/noticias/2016/01/agricultura-cresce-no-brasil-mesmo-com-mudancas-climaticas>>. Acesso em: 19 mar. 2017.

BRASIL. MAPA – **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. 2017b. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2016/08/safra-de-cana-de-acucar-crescera-2-9-em-2017>>. Acesso em: 28 ago. 2016.

BRASIL. MAPA – **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica, Rio de Janeiro, R.J. Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Nordeste do Estado do Paraná (Informe preliminar). Curitiba, 139 p. (Boletim Técnico, 16). 1971.

BROOKES, P. C. The soil microbial biomass: concept, measurement and applications in soil ecosystem research. **Microbes Environment**, v. 16, 131-140. 2001.

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.**, v. 17: 837-842, 1984.

BUAINAIN, A. M.; GARCIA, J. R. **Recent development patterns and Challenges of Brazilian agriculture**. In: CONFERENCE ON MULTI-COUNTRY RESEARCH DIALOGUE ON EMERGING ECONOMIES IN THE NEW WORLD ORDER PROMISES: PITFALLS AND PRIORITIES, 2010, New Delhi. Proceedings... New Delhi: ICRIER; IDRC-CRDI, p. 1-49. 2010.

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. >Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agronômico de Campinas. Campinas, Instituto Agronômico. (Boletim técnico, 106, Edição revista e atualizada). 77p. 2009.

CAMPOS, B.C.; AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; NICOLOSO, R. S.; FIORIN, J.E. Carbon stock and its compartments in a subtropical oxisol under long-term tillage and crop rotation systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 3, p. 805-817, 2011.

CARDOSO, J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**. 2<sup>a</sup>.ed. Piracicaba: ESALQ, 221 p. 2016.

CARNEIRO, M. C., ASSIS, P. C. R., MELO, L. B. C., PEREIRA, H. S., PAULINO, H. B. e SILVEIRA NETO, A. N. Atributos bioquímicos em dois solos de Cerrado sob diferentes

sistemas de manejo e uso. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.38, p. 276-283. 2008.

CARNEIRO, Marco Aurélio Carbone; SOUZA, Edicarlos Damacena de; REIS, Edésio Fialho dos; PEREIRA, Hamilton Seron; AZEVEDO, Watson Rogério de. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 33. p.147-157, 2009.

CARVALHO, A.M.; SOUZA, L.L.P.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; ALVES, P.C.A.C.; VIVALDI, L.J. Cover plants with potential use for crop livestock integrated systems in the Cerrado region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1200-1205, 2011.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CFSRS/SC. **Manual de recomendação de adubação e decalagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10<sup>a</sup> ed. Porto Alegre, SBCS/NRS, 400p. 2004.

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

COSER, T. R.; RAMOS, M. L. G.; FIGUEIREDO, C. C. D.; CARVALHO, A. M. D.; CAVALCANTE, E.; MOREIRA, M. K. D. R.; ARAUJO, P. S.; OLIVEIRA, S. A. D. Soil microbiological properties and available nitrogen for corn in monoculture and intercropped with forage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n.9, p.1660-1667, 2016.

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

COULTER, B.S. The chemistry of hydrogen and aluminum in soils, clay minerals and resins. **Soil & Fertilizers**, 32: 215-223, 1969.

CRUZ, J. C; FILHO, I. A. P; ALVARENGA, R. C.; NETO, M. M. G.; VIANA, J. H. M.; OLIVEIRA, M. F.; MATRANGOLO; W. J. R.; FILHO, M. R. A. **Cultivo do milho**. Embrapa Milho e Sorgo, Sistemas de produção, 2. 6<sup>a</sup> ed. 2010.

CRUZ, J. C.; ALVARENGA, R. C.; NOVOTRY, E. H.; PEREIRA FILHO, I. A.; SANTANA, D. P.; PEREIRA, F. T. F.; HERNANI, L. C. **Cultivo do milho: sistema plantio direto**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. (Comunicado Técnico, 51). 7p. 2002.

DE-POLLI, H.; PIMENTEL, M. S. Indicadores de qualidade do solo. In: AQUINO, A.M. de; ASSIS, R.L. de. (Ed.). **Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p.17-28. 2005.

DICK, R. P. A review: long-term effects of agricultural systems on soil biochemical and microbial parameters. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 40, p. 25-36, 1992.

DINESH, R., CHAUDHURI, S. G., GANESHAMURTHY, A. N. e DEY, C. (2003). Changes in soil microbial indices and their relationships following deforestation and cultivation in wet tropical forests. >Applied Soil Ecology, 24, 17-23.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. **Defining and assessing soil quality**. In: DORAN, J. W.;

COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWARD, B. A. (eds.). Defining soil quality for sustainable environment. Madison: SSSA p.3-21. (SSSA.Special Publication, 35), 1994.

EMBRAPA SOJA. **Tecnologias de produção de soja - região central do Brasil**. 2011.

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

EMBRAPA SOJA. **Tecnologias de Produção de Soja**. Paraná. 2004. Disponível em:

EMBRAPA. **Dados econômicos**. 2017. Disponível em: <  
<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. Acesso em: 05 Jul. 2017

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2ª ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS, 212p. 1997.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2013.

EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja - região central do Brasil – 2004**. Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Agropecuária Oeste: Embrapa Cerrados: EPAMIG: Fundação Triângulo. (Sistemas de Produção, 4). 237p. 2003.

ERNANI, P. R. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. O Autor, Lages. 230p. 2008.

FERREIRA, E.; DE BRITO, P., et al. Microbial soil quality indicators under different crop rotations and tillage management. **Rev. Ciênc. Agron.**, Fortaleza, v. 41, n. 2, p. 177-183, 2010.

FLEURY, M. **Efeito da fragmentação florestal na predação de sementes de palmeira jerivá (*Syagrus romanzoffiana*) em florestas semidecíduas do estado de São Paulo**, 2003. ESALQ-USP. (Dissertação de Mestrado). 2003.

FREITAS, L., et al. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Unimar Ciências**, Marília, v. 26, n. 1-2, 2017.

FROGBROOK, Z. L., et al. Exploring the spatial relations between cereal yield and soil chemical properties and the implications for sampling. **Soil Use and Management**, v. 18, n. 01, p. 01-09, 2002.

FURTINI NETO, A. E; VALE, F. R; RESENDE, A. V; GUILHERME, L. R. G.; GUEDES, G. A. A. **Fertilidade do Solo**. Lavras: FAEPE, 261p. 2001.

GAMA-RODRIGUES, E. F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese. p. 227-243. 1999.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; SANTOS, G. A. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, v. 29, p. 393-901. 2005.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; BARROS, N.F.; VIANA, A.P. & SANTOS, G.A. Alterações na

biomassa e na atividade microbiana da serapilheira e do solo, em decorrência da substituição de cobertura florestal nativa por plantações de eucalipto, em diferentes sítios da região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:1489-1499, 2008.

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.

GIESTEIRA, M. **Seminário debate uso sustentável do solo**. Publicado em 11 de abril de 2011.

GODINHO, V. P. C. et al. Adsorção de fosfatos em três solos da região Semi-Árida do Rio Grande do Norte. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 8, p. 19-823, 1997.

GODINHO, T. O.; CALDEIRA, M. V. W.; ROCHA, J. H. T.; CALIMAN, J. P.; VIEIRA, M. Fertilidade do solo e nutrientes na serapilheira em fragmento de Floresta Estacional Semidecidual. **Ecologia e Nutrição Florestal**, v.1, n.3, p.97-109, 2013.

GOMES, J.M.; PAIVA, H.N. **Viveiros florestais: propagação sexuada**. 3. ed. - Viçosa: UFV. 116p. 2004.

GOMES, P. **A soja**. 5a ed. São Paulo: Nobel. 149p. 1990.

GRISI, B.M. Biomassa e atividade microrganismos do solo: revisão metodológica. **Revista Nordestina de Biologia**, João Pessoa, v. 10, n. 1, p. 1-22, 1995.

HENROT, J. & ROBERTSON, G.P. Vegetation removal in two soils of the humid tropics: effect on microbial biomass. **Soil Biology & Biochemistry**, 26: 111-116. 1994.

HERNANI, L.C.; FREITAS, P.L. de; PRUSKI, F.F.; DE MARIA, I.C.; CASTRO, FILHO, C. de; LANDERS, J.N. **Aerosão 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.

HICKMANN, C.; COSTA, L.M. da. Estoque de carbono no solo e agregados em Argissolo sob diferentes manejos de longa duração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.1055-1061, 2012.

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.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T.; SUHET, A. R.; PERES, J. R. R. **Fixação biológica de nitrogênio em soja**. In: ARAÚJO, R. S.; HUNGRIA, M. (Ed.). Microrganismos de importância agrícola. Brasília: Embrapa-SPI, 1994. p. 9-89.

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

ISLABÃO, G.O.; TIMM, L.C.; CASTILHOS, D.D.; PRESTES, R.B.; BAMBERG, A.L. **Carbono da biomassa e atividade microbiana em solos cultivados com morango no município de Turuçu/RS**. Pelotas: UFPEL, 2015.

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

IYYEMPERUMAL, K., ISRAEL, D. W. e SHI, W. Soil microbial biomass, activity and potential nitrogen mineralization in a pasture: impact of stock camping activity. **Soil Biology and Biochemistry**, 39, 149-157. 2007.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A.A.; SANTOS, J.B. & VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.38, p.118- -127, 2008.

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

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

LANDE, R. Genetics and demography in biological conservation. **Science** v. 241, p.1455–1460. 1988.

LEITE, L. F. C.; ARAÚJO.A. S. F.; **Ecologia microbiana do solo**. Documento 164, EMBRAPA Meio-Norte, Teresina, 2007.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O. A.; GALVÃO, J. C. C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 821-832, 2003.

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

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.

MAFRA, Álvaro Luiz; GUEDES, Sulamita de Fátima Figueiredo; FILHO, Osmar Klauberg; SANTOS, Júlio César Pires; ALMEIDA, Jaime Antônio de; ROSA, Jaqueline Dalla. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. **Revista Árvore**. v. 32, n.2, p.217-224, 2008.

MALAVOLTA, E., VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicação**. 2<sup>a</sup>.ed. Piracicaba. Associação Brasileira para Pesquisa do fosfato. 201p. 1997.

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

MARTINS, C. M.; GALINDO, I. C. L.; SOUZA, E. R.; POROCA, H. A. Atributos químicos

e microbianos do solo de áreas em processo de desertificação no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v 34, p. 1883-1890, 2010.

MATIAS, M. da C.B.S.; SALVIANO, A.A.C.; LEITE, L.F. de C.; ARAÚJO, A.S.F. Biomassa microbiana e estoques de C e N do solo em diferentes sistemas de manejo, no Cerrado do Estado do Piauí. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.31, p.517-521, 2009.

MATSUOKA, M. **Atributos biológicos de solos cultivados com videira na região da Serra Gaúcha**. 2006. 171 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

MATSUOKA, M.; MENDES, L.C. & LOUREIRO, M.F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 3, p. 425-433, 2003.

MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P.; ALVARENGA, M. I. N.; VIEIRA, F. B. M. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, p. 2461-2470, 2008. Acesso em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n6/v32n6a23.pdf>> Acesso em: 15 dez. 2017.

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, 31p. 2009.

MERCANTE, F. M.; FABRICIO, A. C.; MACHADO, L. A. Z.; SILVA, W. M. **Parâmetros Microbiológicos Como Indicadores de Qualidade do Solo sob Sistemas Integrados de Produção Agropecuária**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2004. 27 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento).

MIJANGOS, I. et al. Effects of fertilization and tillage on soil biological parameters. **Enzyme and Microbial Technology**. Amsterdam: Elsevier, v. 40, n. 1, p. 100-106, 2006.

MMA - **MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE**. Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca PAN-Brasil. **2016**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/florestas/controle-e-preven%C3%A7%C3%A3o-do-desmatamento/plano-de-a%C3%A7%C3%A3o-para-amaz%C3%B4nia-ppcdam>>. Acesso em: 07 ago. 2016.

MMA - **MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE**. 2016. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/mata-atlantica>>. Acesso em: 01 Ago. 2016.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2<sup>a</sup>.ed. atual. e ampl. Lavras: Ed. da UFLA. 729p. 2006.

MOTA, F.S. **Meteorologia agrícola**. São Paulo, Nobel, 201p. 1989.

MUMMEY, D.L.; STAHL, P.D.; BUYER, J.S. Microbial biomarkers as an indicator of ecosystem recovery following surface mine reclamation. **Applied Soil Ecology**, v. 21, p. 251-259. 2002.

MURTY, D.; KIRSCHBAUM, M.U.F.; McMURTRIE, R.E. & MCGILVRAY, H. Does conversion of forest to agricultural land change soil carbon and nitrogen?. A review of literature. **Global Change Biol.**, v. 8, p.105-123, 2002.

NAEL, M.; KHADEMI, H.; HAJABBASI, M.A. Response of soil quality indicators and their spatial variability to land degradation in central Iran. **Applied Soil Ecology**, v. 27, p. 221-232. 2004.

NELSON, D.W.; SOMMERS, L.E. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D.R. eds. Methods of soil analysis: Chemical and microbiological properties. Part 2. Madison, **Soil Science Society of America**, p.539-579. 1982.

NOGUEIRA, M. A. et al. Promising indicators for assessment of agroecosystems alteration among natural, reforested and agricultural land use in southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 115, n. 01/04, p. 237-247, 2006.

NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. 1ª ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 1017. 2007

NOVAIS, Roberto Ferreira; SMYTH, T. Jot. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999.

ODUM, E. P. Trends expected in stressed ecosystems. **Bioscience**, Londres, v. 35, p. 419-422, 1985.

OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C. & PENATTI, C.P. Degradação da palhada cana de açúcar. **Science Agricultural**, v. 56, p. 803-809, 1999.

PANKHURST, C.E.; HAWKE, B.G.; MACDONALD, H.J.; KIRBY, C.A.; BUCKERFIELD, J.C.; MICHELSEN, P.; O'BRIEN, K.A.; GUPTA, V.V.S.R.; DOUBE, B.M. > Evaluation of soil biological properties as potential bioindicators of soil health. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.35, p.1015-1028, 1995.

PARANÁ - **Agência Estadual de Notícias**. Paraná deve colher até 46 milhões de toneladas de cana-de-açúcar. 2016a. Disponível em: <<http://www.aen.pr.gov.br/modules/noticias/article.php?storyid=88819>> Acesso em: 06 Ago. 2016a.

PARANÁ - **Agência Estadual de Notícias**. Seca e geadas prejudicam produção de milho no Paraná. 2016b. Disponível em: <<http://www.aen.pr.gov.br/modules/noticias/article.php?storyid=89695&tit=Seca-e-geadas-prejudicam-producao-de-milho-no-Parana>> Acesso em: 07 Ago. 2016b.

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Soil microbiology and biochemistry**. San Diego: Academic Press. 1989.

PAVELHAO, T. R. **Valores orientadores de qualidade para metais pesados em solos cultivados no município de Bandeirantes-PR**. 2016. 156 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2016.

PEECH, M. Exchange acidity. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis. **Madison, American Society of Agronomy**, 1965.p.905-913.

PIAO, H. C.; HONG, Y. T.; YUAN, Z. Y. Seasonal changes of microbial biomass carbon related to climatic factors in soil from Karst areas of southwest China. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 30, n. 4, p. 294- 297, 2000.

POSSAMAI, J. M.; SOUZA, C. M. de; GALVÃO, J. C. C. Sistemas de preparo do solo para o cultivo do milho safrinha. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 2, p. 79 - 82, 2001.

POWLSON, D. S.; BROOKES, P. C.; CHRISTENSEN, B. T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total organic matter due to straw incorporation. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, p. 159-164, 1987.

RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011.

RBMA. **Reserva da Biosfera da Mata Atlântica**. 2012. Anuário Mata Atlântica. São Paulo, RBMA. 90p. 2012.

RENGEL, Z. & ZHANG, W. H. **Role of dynamics of intracellular calcium in aluminium-toxicity syndrome**. New Phytol., 159: 295-314, 2003.

RESCK,D.V.S.; PEREIRA, J. & SILVA, J.E. **Dinâmica da matéria orgânica na região dos Cerrados**. Planaltina, Embrapa-CPAC, (Embrapa-CPAC. Documentos, 36). 22p. 1991.

RESENDE SILVA, A.; DIAS JUNIOR, M. S.; LEITE, F. P. Avaliação da intensidade de tráfego e carga de um forwarder sobre a compactação de um latossolo vermelho amarelo. **Revista Árvore**, Viçosa, v.35, p. 547-554, 2011.

RIBEIRO, J. M. **Atributos químicos e microbiológicos do solo em sistemas agroflorestais do norte de Minas Gerais**. 2014. 89 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros.2014.

ROCHA, C. F. D.; H. G. BERGALLO; M. A. S. ALVES & M. V. SLUYS. **A biodiversidade nos grandes remanescentes florestais do Estado do Rio de Janeiro e nas restingas da Mata Atlântica**. Rima Editora, São Carlos, 163 p. 2003.

RONQUIM, C.C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. Campinas, SP: Embrapa Monitoramento por Satélite. Embrapa Monitoramento por Satélite. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. v. 8, 26p. 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.

SAMPAIO, D.B.; ARAÚJO, A.S.F. de; SANTOS, V.B. dos. Avaliação de indicadores biológicos de qualidade do solo sob sistemas de cultivo convencional e orgânico de frutas. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, p.353-359, 2008.

SANTOS, V. B.; CASTILHOS, D. D.; CASTILHOS, R. M. V.; PAULETTO, E. A.;

GOMES, A. S.; SILVA, D. G. Biomassa, atividade microbiana e teores de carbono e nitrogênio totais de um planossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.10, p.333-338, 2004.

SATO, J. H. **Métodos para determinação do carbono orgânico em solos do Cerrado**. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, p.90, 2013.

SAVIOZZI, A., LEVI-MINZI, R., CARDELLI, R. e RIFFALDI, R. A comparison of soil quality in adjacent cultivated forest and native grassland soils. **Plant and Soil**, 233, 251-259. 2001.

SCHROTH, G.; D'ANGELO, S.A.; TEIXEIRA, W.G.; HAAG, D.; LIEBEREI, R. Conversion of secondary forest into agroforestry and monoculture plantations in Amazonia: consequences for biomass, litter and soil carbon stocks after 7 years. **Forest Ecology and Management**, v. 163, p. 131-150, 2002.

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, C.F. da; PEREIRA, M.G.; MIGUEL, D.L.; FEITORA, J.C.F.; LOSS, A.; MENEZES, C.E.G.; SILVA, E.M.R. Da. Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no Médio Vale do Paraíba do Sul (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1680-1689, 2012.

SILVA, E.E.; AZEVEDO, P.H.S.; DE-POLLI, H. **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO<sub>2</sub>)**. Seropédica. (Comunicado Técnico 99) 2007a.

SILVA, E.E.; AZEVEDO, P.H.S.; DE-POLLI, H. **Determinação do Carbono da Biomassa Microbiana do Solo**. Seropédica. (Comunicado Técnico 98). 2007b.

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

SILVA, P. C. M.; CHAVES, L. H. G. Avaliação e variabilidade espacial de fósforo, potássio e matéria orgânica em Alissolos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 03, p. 431-436, 2001.

SILVA, R. R.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. de S.; CURI, N.; ALOVISI, A. M. T. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.5, p.1585-1592, 2010.

SILVEIRA, Rafael Botelho; MELLONI, Rogério; MELLONI, Eliane Guimarães Pereira. Atributos microbiológicos e bioquímicos como indicadores da recuperação de áreas degradadas, em Itajubá/MG. **Revista Cerne**. v. 12, n. 1, p. 48-55, 2006.

SILVEIRA, A. O. **Avaliação de metodologias para o monitoramento da qualidade do solo**. 2011. 87 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Departamento de Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2011.

SILVEIRA, A.O.; PLATTE, E.B.; ROESCH, L.F.W.; D'AGOSTINI, R.; SÁ, E.L.S.; CASALINHO, H. & CAMARGO, F.A.O. Processos biológicos como indicadores de qualidade ambiental. **Boletim Informativo Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 32:15-16, 2009.

SILVEIRA, Pedro Marques da; STONE, Luís Fernando. Teores de nutrientes e matéria orgânica afetados pela rotação de culturas e sistema de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.25:p.387-394, 2001.

SIQUEIRA NETO, M. et al. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos de solo no Cerrado. **Acta Scientiarum**. Agronomy. Maringa, v.31, n.4, p.709 -717, 2009.

SIX, J. et al. Soil structure and organic matter: Distribution of aggregate size classes and aggregate associated carbon. **Soil Science Society of America Journal**, v.64, p.681 -689, 2000.

SOUZA, Zigmar Menezes de; ALVES, Marlene Cristiana. Propriedades químicas de um Latossolo vermelho distrófico de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.27: p.133-139, 2003.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. **Adubação com fósforo**. In: SOUSA, D.M.G. e LOBATO, E. (Eds.). Cerrado: correção do solo e adubação. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 416p. 2002.

SOUZA, E.D.; CARNEIRO, M.A.C.; PAULINO, H.B.; SILVA, C.A. Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob cerrado submetido a diferentes sistemas de manejos e usos do solo. **Acta Scientiarum**. Agronomy, v.28, p.323-329, 2006.

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.

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

SPERA, S.T. **Atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho e produtividade de culturas, em função de manejo de solo e de rotação de culturas**. 2009, 228f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 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.

TOMASI, Cristiano Albino et al . Atributos químicos e área superficial específica em Latossolo subtropical de altitude sob usos e manejos distintos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 12, p. 2172-2179, 2012 .

TORRES, Anatoly Queiros Abreu. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em área**

**degradada em recuperação com plantio de leguminosas arbóreas, no Município de Angra dos Reis, RJ.** 2011.42 f. (Dissertação de mestrado). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2011.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. **Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos.** In: ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. (Ed.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v. 2, p.195-276.

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.

VELOSO, C.A.C.; BORGES, A.L.; MUNIZ A.S.; VEIGALIA. de J.M. S. Efeito de diferentes materiais no pH do solo. **Scientia agricola**, Piracicaba-SP 1992.

VIANA, A. R.; FERREIRA, J. M.; FILHO, S. B. R. **Produção de Cana-de-açúcar visando a utilização na alimentação de bovinos de leite.** Manual Técnico; 30. Niterói, p. 4-7, 2012.

WALKLEY, A. & BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, Baltimore, v.37, p.29-38, 1934.

WANG, K. H., MCSORLEY, R., BOHLEN, P. e GATHUMBI, S. M. Cattle grazing increases microbial biomass and alters soil nematode communities in subtropical pastures. **Soil Biology and Biochemistry**, 38, 1956-1965. 2006.

WARDLE D. A, HUNGRIA M. **A biomassa microbiana do solo e sua importância nos ecossistemas terrestres.** In: Araújo RS, Hungria, M. (Eds.) *Microrganismos de importância agrícola*. Brasília, Embrapa-SPI pp.193-216. 1994.

WARDLE, D. A. Impacts of disturbance on detritus food webs in agro-ecosystems of contrasting tillage and weed management practices. **Advances in ecological research**, v. 26, p. 105-185, 1994.

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

ZIBILSKE, L. M. Carbon mineralization. In: WEAVER, R. W.; SCOTT, A.; BOTTOMLEY, P. J. (Ed.). *Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties*. Madison: **Soil Science Society of America**, p. 836-864. 1994.

## 8. ANEXO 1

**Tabela 5.** Autovetores de cada componente principal para as análises dos atributos do solo de diferentes manejos na região Bandeirantes, PR.

Atributos	Componente Principal			
	Química – Inverno			
	0 – 10 cm		10 – 20 cm	
	CP1	CP2	CP1	CP2
pH	0.536	-0.107	0.573	-0.058
P	-0.119	-0.865	-0.174	-0.700
K	-0.241	0.148	-0.142	-0.591
Ca	0.452	0.377	0.450	-0.161
Mg	-0.385	0.191	-0.319	-0.208
H+Al	-0.537	0.199	-0.563	0.296
Atributos	Microbiológica – Inverno			
	0 – 10 cm		10 – 20 cm	
	CP1	CP2	CP1	CP2
C.O.T.	0.682	0.224	-0.705	-0.237
CBM	-0.222	0.970	0.013	-0.946
RBS	0.696	0.091	-0.709	0.219
Atributos	Química – Verão			
	0 – 10 cm		10 – 20 cm	
	CP1	CP2	CP1	CP2
pH	0.510	-0.066	0.459	-0.240
P	-0.167	-0.678	-0.306	-0.602
K	-0.189	-0.668	-0.270	-0.656
Ca	0.485	-0.112	0.406	-0.280
Mg	0.418	-0.268	0.454	-0.264
H+Al	-0.516	0.077	-0.502	0.034
Atributos	Microbiológica – Verão			
	0 – 10 cm		10 – 20 cm	
	CP1	CP2	CP1	CP2
C.O.T.	-0.599	-0.405	-0.681	-0.380
CBM	-0.606	-0.335	-0.725	0.230
RBS	-0.524	0.851	-0.102	0.896

**Dados:** \* Valores significativos; CP1: componente principal 1; CP2: componente principal 2.